

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LETÍCIA CARLINI BURGER

**ADAPTAÇÃO E ANÁLISE DO MÉTODO DE HERSHFIELD PARA  
ESTIMATIVA DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL (PMP)**

CURITIBA

2014

LETÍCIA CARLINI BURGER

**ADAPTAÇÃO E ANÁLISE DO MÉTODO DE HERSHFIELD PARA  
ESTIMATIVA DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL (PMP)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Departamento de Hidráulica e Saneamento do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Eloy Kaviski

CURITIBA

2014



## TERMO DE APROVAÇÃO

**LETICIA CARLINI BURGER**

**“ADAPTAÇÃO E ANÁLISE DO MÉTODO DE HERSHFIELD  
PARA ESTIMATIVA DA PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL  
(PMP)”**

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

PRESIDENTE:

**Eloy Kaviski**  
Universidade Federal do Paraná  
Orientador

MEMBROS:

**Cláudio Marchand Krüger**  
Universidade Positivo

**Miriam Rita Moro Mine**  
Universidade Federal do Paraná

**Marcelo Rodrigues Bessa**  
Universidade Federal do Paraná

**Curitiba, 16 de abril de 2014**

Dedico este trabalho a meus pais, Sônia e Marcos, e a meu marido Pedro por todo apoio e amor.

## **AGRADECIMENTOS**

À Intertechne por permitir e incentivar a realização do curso de mestrado concomitantemente com o meu trabalho.

A meu orientador Prof. Eloy Kaviski por toda atenção a mim brindada desde o início do curso de mestrado e principalmente durante o período de orientação desta dissertação, me atendendo em todos os meus questionamentos, compartilhando comigo o seu conhecimento e também por seus conselhos e palavras de apoio.

Aos professores, funcionários e colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Instituto das Águas do Paraná e ao Instituto Tecnológico Simepar por disponibilizarem os dados de precipitação utilizados neste estudo.

A meus pais, Sônia e Marcos, por sua dedicação e empenho em me dar a melhor educação que pudessem, e os mais importantes valores que conheciam.

A meu marido Pedro por seu companheirismo e cumplicidade na realização dos meus sonhos.

A meus amigos e familiares que estiveram presentes durante esses anos, que dividiram comigo as alegrias e as preocupações do curso, por compreenderem a minha ausência nos momentos necessários.

A Deus, por tudo nesta vida.

## ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS .....	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	xi
RESUMO .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Justificativa.....	3
1.2 Objetivo .....	4
1.2.1 Geral .....	4
1.2.2 Específico.....	4
1.3 Organização do Trabalho .....	5
2. CONCEITOS DA PMP .....	6
2.1 Geral.....	6
2.2 Métodos para determinação da Precipitação Máxima Provável .....	7
2.2.1 Métodos Hidrometeorológicos .....	8
2.2.2 Métodos Estatísticos.....	9
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
4. MODELOS PROPOSTOS .....	18
4.1 Modelo de representação matemática do gráfico de Hershfield.....	18
4.2 Modelo de simulação para a estimativa do fator de frequência usando dados amostrais .....	22
5. ESTUDO DE CASO.....	27
5.1 Estações pluviométricas adotadas.....	27
5.2 Processamento dos dados .....	35
5.2.1 Análise da distribuição de probabilidade que melhor se ajusta às séries de máximos anuais.....	35
5.2.2 Análise de estacionariedade das séries.....	37
6. RESULTADOS .....	40
6.1 Ajuste de envoltórias .....	43
6.1.1 Verificação do valor máximo de $K$ do método de Hershfield .....	58
6.2 Verificação do modelo proposto para extrapolação .....	59
6.3 Distribuição espacial do fator de frequência $K$ no estado do Paraná .....	60

7. ANÁLISE COMPARATIVA COM MÉTODO DE REGIONALIZAÇÃO DA PMP NO ESTADO DO PARANÁ .....	64
8. CONCLUSÕES.....	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	74
APÊNDICE A - Ajuste de Modelos Não Lineares.....	78
APÊNDICE B - Estimativa dos Parâmetros da Distribuição Log-Normal .....	81
APÊNDICE C - Geração de Séries Sintéticas de Totais Acumulados de Precipitações Máximas Anuais.....	83
APÊNDICE D - Análise dos Componentes Principais .....	86
APÊNDICE E - Teste de Mann-Kendall .....	89
APÊNDICE F - Resultados.....	92

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – $K$ em função da duração da chuva e da média das precipitações máximas anuais com durações de 5 min, 1 h, 6 h e 24 h (WMO, 2009).....	11
Figura 2.2 – Ajuste da média das séries anuais para valores atípicos (WMO, 2009) ..	11
Figura 2.3 – Ajuste do desvio padrão das séries anuais para valores atípicos (WMO, 2009) .....	12
Figura 2.4 – Ajuste da média e do desvio padrão das séries anuais em função do tamanho da série (WMO, 2009).....	12
Figura 4.1 – Comparação dos resultados das interpolações para $d = 6h$ .....	21
Figura 4.2 – Resultados da extrapolação para $d = 2$ a 10 dias .....	22
Figura 5.1 – Estações automáticas e telemétricas do Instituto Tecnológico Simepar..	32
Figura 5.2 – Estações convencionais do Instituto das Águas do Paraná .....	33
Figura 5.3 – Estações do Instituto Tecnológico Simepar e do Instituto das Águas do Paraná.....	34
Figura 5.4 – Estação 2349033 - AGUASPARANÁ ( $d = 4$ dias) .....	36
Figura 5.5 – Estação 2549004 - AGUASPARANÁ ( $d = 1$ dia) .....	37
Figura 6.1 – Ajuste de envoltórias - Automáticas1 .....	44
Figura 6.2 – Ajuste de envoltórias – Automáticas2 .....	44
Figura 6.3 – Ajuste de envoltórias - Convencionais .....	44
Figura 6.4 – Envoltórias Automáticas1 (representação gráfica) .....	45
Figura 6.5 – Envoltórias Automáticas2 (representação gráfica) .....	45
Figura 6.6 – Envoltórias Automáticas2 – $200 \leq P_{\text{média}} \leq 400$ .....	46
Figura 6.7 – Envoltórias Convencionais (representação gráfica) .....	46
Figura 6.8 – Envoltórias Convencionais – $200 \leq P_{\text{média}} \leq 400$ .....	47
Figura 6.9 – Envoltórias Automáticas1 – $K=15$ (modelo).....	48
Figura 6.10 – Envoltórias Automáticas2 - $K=15$ (modelo) .....	49
Figura 6.11 – Envoltórias Automáticas1 e Automáticas2 - $K=15$ (modelo) .....	49
Figura 6.12 – Envoltórias Automáticas1 e Automáticas2 - $K=15$ – $200 \leq P_{\text{média}} \leq 400$ ..	50
Figura 6.13 – Envoltórias Convencionais – $K=15$ (modelo).....	50



Figura 6.14 – Envoltórias Convencionais – $K=15$ – $200 \leq P_{\text{média}} \leq 400$ .....	51
Figura 6.15 – Envoltórias Automáticas1 – $K=8,32$ (modelo).....	51
Figura 6.16 – Envoltórias Automáticas2 – $K=7,44$ (modelo).....	52
Figura 6.17 – Envoltórias Automáticas1 e Automáticas2 - $K=7,67$ (modelo) .....	52
Figura 6.18 – Envoltórias Convencionais – $K=13,62$ (modelo) .....	53
Figura 6.19 – Envoltórias Convencionais – $K=13,62$ – $200 \leq P_{\text{média}} \leq 400$ .....	53
Figura 6.20 – Envoltórias Automáticas1 – FC 99% (modelo) .....	55
Figura 6.21 – Envoltórias Automáticas2 – FC 99% (modelo) .....	56
Figura 6.22 – Envoltórias Convencionais – FC 99% (modelo) .....	56
Figura 6.23 – $K$ em função da duração da chuva e da média das precipitações máximas anuais com durações de 1h a 24h – Estado do Paraná.....	57
Figura 6.24 – $K$ em função da duração da chuva e da média das precipitações máximas anuais com durações de 1 a 10 dias – Estado do Paraná .....	57
Figura 6.25 – Gráfico de Hershfield – Ajuste do $K$ máximo .....	58
Figura 6.26 – Equação Automáticas1 para $d = 1$ a 10 dias .....	59
Figura 6.27 – Envoltórias Convencionais – $K=15$ (modelo).....	60
Figura 6.28 – Distribuição espacial do $K$ – Estações automáticas .....	62
Figura 6.29 – Distribuição espacial do $K$ – Estações convencionais .....	63
Figura 7.1 – Estações pluviométricas selecionadas.....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Pontos levantados do gráfico da Figura 2.1 .....	19
Tabela 4.2 – Comparação de resultados de interpolações .....	20
Tabela 4.3 – Resultados da extrapolação para $d = 2$ a 10 dias.....	21
Tabela 5.1 – Estações automáticas e telemétricas do Instituto Tecnológico Simepar. 29	
Tabela 5.2 – Estações pluviométricas do Instituto das Águas do Paraná.....	30
Tabela 5.3 – Estações pluviométricas do Instituto das Águas do Paraná (cont.).....	31
Tabela 5.4 – P-valores resultantes para as séries de precipitações máximas anuais das estações do Instituto das Águas do Paraná .....	39
Tabela 7.1 – Estações pluviométricas selecionadas .....	65
Tabela 7.2 – Fatores de frequência .....	67
Tabela 7.3 – Parâmetros estatísticos das estações pluviométricas selecionadas .....	67
Tabela 7.4 – Resultados da PMP .....	68
Tabela 7.5 – Diferenças entre resultados da PMP .....	68
Tabela F.1 – Fator de frequência K – Estações automáticas .....	93
Tabela F.2 – Fator de frequência K – Estações convencionais – Extensão de dados: 10 anos.....	95
Tabela F.3 – Fator de frequência K – Estações convencionais – Extensão de dados: 20 anos.....	96
Tabela F.4 – Fator de frequência K – Estações convencionais – Extensão de dados: 30 anos.....	97
Tabela F.5 – Fator de frequência K – Estações convencionais – Extensão de dados: 40 anos.....	98
Tabela F.6 – Fator de frequência K – Estações convencionais – Extensão de dados: 50 anos.....	99
Tabela F.7 – Fator de frequência K – Estações convencionais – Extensão de dados: Total .....	100

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP – Análise dos Componentes Principais

AGUASPARANÁ – Instituto das Águas do Paraná

AR(1) – Modelo Auto-Regressivo de primeira ordem

CMP – Cheia Máxima Provável

ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

EUA – Estados Unidos da América

GEV – *Generalized Extreme Value distribution* (Distribuição generalizada de extremos)

IDW – *Inverse Distance Weighted* (Método do inverso do quadrado da distância)

MSMC – Método de Simulação Monte Carlo

NRC – *National Research Council*

PMP – Precipitação Máxima Provável

SIMEPAR – Instituto Tecnológico Simepar

WLS – *Weighted Least Squares* (Método dos mínimos quadrados ponderado)

WMO – *World Meteorological Organization*

## RESUMO

Para se dimensionar adequadamente obras hidráulicas como grandes barragens, procura-se aproximar a zero a probabilidade de ocorrer uma ruptura ou galgamento de tal estrutura, através do cálculo do limite superior fisicamente possível de precipitar e escoar na área de drenagem em questão. A Precipitação Máxima Provável (PMP) e a sua resultante Cheia Máxima Provável (CMP) são tentativas neste sentido.

O método estatístico proposto por Hershfield para a estimativa da PMP, recomendado pela *World Meteorological Organization* (WMO), teve seus parâmetros determinados para regiões dos EUA e é recomendado para eventos de chuva com duração de até 24h. Nesta dissertação são apresentados modelos para a estimativa do fator de frequência  $K$  utilizado no cálculo da PMP estatística, adequado para sua aplicação a regiões específicas e eventos de chuva com durações superiores a 24 horas.

Através de um estudo de caso no estado do Paraná, utilizando-se um total de 37 estações automáticas e 50 estações convencionais, bem como diferentes durações de chuva e extensões de séries de dados, os resultados obtidos pelos modelos são comparados. Os métodos propostos são avaliados também através da comparação com um método existente para estimativa da PMP nesta mesma região. São determinadas relações empíricas similares às do método de Hershfield, bem como mapas com a distribuição espacial de  $K$  sobre o estado do Paraná.

Ao final do trabalho são apresentadas as conclusões que mostram que o método de Hershfield é conservador para a estimativa da PMP no estado do Paraná, e que tanto o modelo de simulação proposto quanto as equações empíricas determinadas para o estado do Paraná são adequados para a estimativa do fator de frequência utilizado no cálculo da PMP estatística.

Palavras-chave: Método de Hershfield, Precipitação Máxima Provável, Cheia Máxima Provável.

## ABSTRACT

To properly design hydraulic structures such as large dams, it is sought to approximate to zero the probability of a break or overtopping of such structure, by calculating the upper limit physically possible to rain and flow in the catchment in question. The Probable Maximum Precipitation (PMP) and its resulting Probable Maximum Flood (PMF) are attempts to this end.

The statistical method proposed by Hershfield for estimating the PMP, recommended by the World Meteorological Organization (WMO), had its parameters determined for U.S. regions and is recommended for rain events lasting up to 24h. Models are presented in this thesis in order to estimate the frequency factor  $K$  used in the calculation of statistical PMP, suitable for its application to specific regions and rainfall events with durations longer than 24 hours.

A case study was conducted using a total of 87 rainfall stations located in the state of Paraná, for different durations of rainfall and lengths of data series, and the results obtained with both models are then compared. The proposed methods are also evaluated by comparison with an existing method for estimating PMP in the same region. Empirical relationships similar to Hershfield's are determined, as well as maps showing the spatial distribution of  $K$  on the state of Paraná.

At the end of the thesis the conclusions are presented, showing that Hershfield's method is conservative to estimate the PMP in the state of Paraná, and that both the simulation model proposed and the empirical equations determined for the state of Paraná are suitable for estimating the frequency factor used in calculating the statistical PMP.

Key-words: Hershfield's Method, Probable Maximum Precipitation, Probable Maximum Flood.

## 1. INTRODUÇÃO

A determinação de cheias de projeto de estruturas hidráulicas, tais como vertedores de barragens, é de grande importância para o meio técnico, assim como para a sociedade em geral. Os riscos provenientes de uma possível ruptura ou galgamento de uma barragem de grande porte incluem perdas de vidas humanas, danos físicos e materiais, paralisação da economia local, colapso do sistema hidrelétrico, dentre outros. Estes riscos podem ser minimizados com o dimensionamento adequado das estruturas hidráulicas.

Os critérios para a definição da cheia de projeto de grandes barragens devem ser amplamente discutidos, tendo em vista que 1/3 das rupturas destas estruturas se devem ao subdimensionamento de vertedores (KELMAN e DAMÁZIO, 1985).

Diversas organizações no mundo definem os padrões de segurança para o cálculo de cheia de projeto, que de forma geral são baseados numa classificação de barragens, onde para grandes e importantes barragens, a cheia de projeto deve ser obtida através do conceito da Cheia Máxima Provável (CMP) ou pela atribuição de probabilidades mínimas à sua ocorrência.

Segundo KELMAN e DAMÁZIO (1985), no Brasil, os prejuízos relacionados ao rompimento de grandes barragens são considerados tão grandes que se justifica dimensionar seus vertedouros buscando a “segurança máxima” da obra.

A segurança máxima de uma barragem corresponde a uma probabilidade insignificante de transbordamento por efeito de cheias ao longo de um período de tempo. Uma das formas para se alcançar este objetivo é a de tentar aproximar esta probabilidade a zero, através do cálculo do limite superior fisicamente possível de precipitar e escoar na área de drenagem em questão. A Precipitação Máxima Provável (PMP) e a sua resultante CMP são tentativas neste sentido (KELMAN e DAMÁZIO, 1985).

A PMP, segundo a *World Meteorological Organization* (WMO, 2009), é definida como a maior altura de chuva meteorologicamente possível de ocorrer sobre uma determinada bacia hidrográfica, correspondente a uma dada

duração e época do ano, sem levar em conta as tendências climáticas de longo prazo.

Através da utilização de modelos de transformação de chuva em vazão, transforma-se a Precipitação Máxima Provável na Cheia Máxima Provável, que é o hidrograma máximo teórico que pode ocorrer em uma determinada bacia hidrográfica, em uma determinada época do ano, correspondente ao resultado da ocorrência da PMP.

Em métodos indiretos, a quantidade de informações necessária é superior à utilizada nos métodos diretos. São utilizados dados pluviométricos e meteorológicos para definir a chuva de projeto, e as peculiaridades da bacia hidrográfica são interpretadas na forma de um modelo de transformação de precipitação em escoamento.

A PMP e a CMP também são conhecidas como os limites físicos superiores das tempestades e suas respectivas cheias. Tendo em vista a grande complexidade dos fenômenos, bem como as limitações dos dados existentes, principalmente os meteorológicos, estão disponíveis atualmente apenas aproximações para os limites superiores de chuva e vazão. A confiabilidade da estimativa depende fundamentalmente da quantidade e qualidade dos dados observados, assim como do aprofundamento das análises.

Para a determinação da PMP, os métodos utilizados podem ser classificados basicamente em métodos hidrometeorológicos e métodos estatísticos. Os métodos hidrometeorológicos baseiam-se na maximização de tormentas severas; quanto aos métodos estatísticos, a abordagem mais tradicionalmente utilizada toma por base a equação geral de frequência apresentada por Chow (*apud* TUCCI, 1993: 217).

Os métodos hidrometeorológicos são os procedimentos mais tradicionais para a determinação da precipitação máxima provável. Consistem basicamente na maximização de eventos históricos através dos seguintes procedimentos: transposição de tempestades observadas, maximização da umidade, maximização temporal e maximização espacial.

Os métodos estatísticos são úteis para uma estimativa rápida da PMP, e também são muito utilizados em casos onde a região em estudo apresenta escassez de dados meteorológicos, necessários para a determinação hidrometeorológica.

### 1.1 Justificativa

Conforme mencionado anteriormente, é imprescindível a adequada determinação da cheia de projeto de estruturas hidráulicas, sendo um dos principais critérios recomendados para o dimensionamento de grandes barragens, a adoção da Cheia Máxima Provável.

No momento da escolha do método a ser utilizado para a estimativa da Precipitação Máxima Provável, um dos fatores importantes a ser observado é a disponibilidade de dados. Muitas vezes são encontradas dificuldades para se aplicar o método mais tradicional, que é o hidrometeorológico. As principais dificuldades encontradas são a carência de dados meteorológicos e o custo que este método demanda para ser aplicado. Por isso, em muitos casos opta-se pela estimativa da PMP através do método estatístico, que somente utiliza dados de precipitação, e com custo significativamente menor que o hidrometeorológico.

Entre todos os métodos estatísticos propostos para a estimativa da PMP, o que teve melhor aceitação e é recomendado pela *World Meteorological Organization* (WMO) é o Método de Hershfield. Entretanto, o método desenvolvido por Hershfield teve seus parâmetros determinados para regiões em sua maior parte localizadas nos EUA. Além disso, o método é recomendado para bacias hidrográficas de até 1.000 km<sup>2</sup>, apesar de ter sido aplicado a áreas muito maiores, e para durações de chuva de até 24h.

Segundo a WMO (2009), os procedimentos para a estimativa da PMP não podem ser padronizados. Eles variam com a quantidade e qualidade dos dados disponíveis, tamanho da bacia hidrográfica e localização, topografia da bacia hidrográfica, tipos de tempestades e clima. Por isso, existem muitas regiões em várias partes do mundo para as quais a PMP nunca foi estimada.

Desta forma, justifica-se a elaboração de um método estatístico baseado no Método de Hershfield, adaptado para utilização em diferentes



regiões, com parâmetros específicos para este local, e que possa ser aplicado a durações de chuva superiores a 24 horas.

## **1.2 Objetivo**

### **1.2.1 Geral**

Este trabalho tem como objetivo geral propor um método para a determinação da Precipitação Máxima Provável por meio de técnicas estatísticas fundamentadas no método de Hershfield utilizando-se valores do fator de frequência adequados para sua aplicação a diferentes regiões e eventos de chuva com durações que variam de 1 hora a 10 dias.

### **1.2.2 Específico**

A pesquisa tem como objetivos específicos os seguintes:

- Desenvolver um modelo para representar as relações do gráfico do método de Hershfield, bem como alternativas para sua aplicação a chuvas com durações maiores que 24 horas;
- Determinar um método para a estimativa do fator de frequência utilizado no cálculo da PMP estatística, adequado para uma região em particular e com duração de chuva que varie de 1 hora a 10 dias;
- Determinar relações empíricas similares às do método de Hershfield para o estado do Paraná;
- Avaliar os métodos desenvolvidos através de comparação com outro método para determinação da PMP no estado do Paraná;
- Análise da influência do tamanho da série amostral na estimativa do fator de frequência  $K$ .
- Elaboração de mapas com a distribuição espacial do fator de frequência  $K$  para diferentes durações de chuva sobre o estado do Paraná.

### 1.3 Organização do Trabalho

O presente trabalho está estruturado em oito capítulos sendo o primeiro deles esta introdução, que discorre sobre o tema de estudo e apresenta a justificativa e os objetivos desta dissertação. Os conceitos da Precipitação Máxima Provável e da Cheia Máxima Provável são apresentados no Capítulo 2, juntamente com os métodos utilizados para estimá-las. O Capítulo 3 contém uma revisão bibliográfica que reúne trabalhos realizados na mesma linha desta dissertação. No Capítulo 4 são apresentados os dois modelos propostos para a estimativa do fator de frequência  $K$ . A descrição do local e dos procedimentos utilizados para a aplicação dos métodos propostos é efetuada no Capítulo 5. O Capítulo 6 traz os resultados obtidos através da aplicação dos modelos propostos. Neste capítulo são apresentadas as envoltórias de  $K$  resultantes para a região de estudo e os mapas com a distribuição espacial deste parâmetro para a mesma região. Os resultados apresentados são discutidos neste mesmo capítulo. O Capítulo 7 visa fazer uma análise comparativa entre os métodos propostos e outro método desenvolvido para a estimativa da PMP na mesma região. As conclusões do trabalho e recomendações para estudos futuros são apresentadas no Capítulo 8. Finalmente apresentam-se as referências bibliográficas e cinco apêndices que complementam os assuntos descritos nos capítulos.

## 2. CONCEITOS DA PMP

### 2.1 Geral

A Precipitação Máxima Provável (PMP), segundo a *World Meteorological Organization* (WMO, 2009), é definida como a maior altura de chuva meteorologicamente possível de ocorrer sobre uma determinada bacia hidrográfica, correspondente a uma dada duração e época do ano, sem levar em conta as tendências climáticas de longo prazo.

Antes dos anos 50, este conceito era conhecido como Precipitação Máxima Possível, uma designação mais adequada à definição apresentada pela WMO (2009). Entretanto, essa definição foi alterada para Precipitação Máxima Provável devido às incertezas que envolvem a estimativa de uma chuva máxima possível, principalmente pelo fato da natureza não ser restrita a limites físicos.

Por definição, a probabilidade de ocorrência de uma precipitação superior à PMP é nula, ou seja, ela representa o limite físico máximo. Porém, houve casos em que tempestades superaram o valor da PMP estimado anteriormente, o que indica que na verdade não se pode considerar risco nulo (KOUTSOYIANNIS, 1999).

Segundo o *National Research Council* (NRC, 1994), o período de retorno associado à PMP estimada nos Estados Unidos está entre  $10^5$  e  $10^9$  anos.

A Cheia Máxima Provável é o hidrograma resultante da ocorrência da PMP sobre uma dada bacia hidrográfica.

CORREIA (1983) considera que as críticas aos métodos para a estimativa da CMP podem resumir-se a três aspectos fundamentais: (i) eles não se preocupam em atribuir à cheia de projeto um risco de excedência que pode não ser nulo; (ii) a utilização destas técnicas envolve muitas vezes um elevado grau de subjetividade podendo conduzir a valores bastante diversos conforme a técnica utilizada para o cálculo da precipitação e a pessoa que a utiliza. Se é possível calcular vários valores distintos para a cheia, todos com a

pretensão de constituírem valores máximos, isso significa que alguns desses valores não correspondem efetivamente ao máximo; (iii) o conceito de máxima precipitação provável baseia-se na maximização simultânea de processos físicos que não são totalmente conhecidos e que dificilmente são tomados em conta na sua totalidade.

Segundo CORREIA (1983), estes métodos têm, contudo, a virtude de considerar os aspectos físicos do fenômeno não se limitando a uma simples extrapolação a partir de amostras de dimensão reduzida. Permitem obter valores de dimensionamento do lado da segurança embora fisicamente razoáveis, o que é conveniente, pois são utilizados precisamente em situações em que o rompimento da estrutura é particularmente grave. Ademais, é sempre útil confrontar os valores que se obtêm desta forma com os que se obtêm com base em técnicas estatísticas.

Nos itens a seguir serão apresentados os métodos estatístico e meteorológico para a estimativa da Precipitação Máxima Provável.

## **2.2 Métodos para determinação da Precipitação Máxima Provável**

A avaliação da PMP pode ser feita através de diversos métodos, que podem ser classificados basicamente em métodos hidrometeorológicos e métodos estatísticos. Os métodos hidrometeorológicos baseiam-se na maximização do teor de umidade da massa de ar causadora da precipitação, enquanto os métodos estatísticos estimam a PMP a partir da maximização do fator de frequência  $K$  da equação geral de frequência apresentada por Ven Te Chow, em 1964 (*apud* TUCCI, 1993: 217).

Os métodos hidrometeorológicos são os procedimentos mais tradicionais para a determinação da precipitação máxima provável, entretanto, como estes métodos necessitam de dados meteorológicos, os quais muitas vezes são escassos em algumas regiões, os métodos estatísticos tornam-se uma ferramenta bastante útil na obtenção da PMP, uma vez que só utilizam dados de precipitação, cuja disponibilidade é muito superior a dos meteorológicos.

Além disso, outra vantagem do método estatístico é que, por se basear nos dados históricos do local de interesse, ele leva em consideração as

características hidrometeorológicas locais por meio de parâmetros estatísticos (KOUTSOYIANNIS, 1999).

A WMO (2009) recomenda especificamente o método estatístico de Hershfield para a estimativa da PMP em locais cujos dados diários de chuva estão disponíveis para um longo período de tempo, e desta forma contenham informações sobre chuvas extremas.

Os métodos estatísticos também são úteis para realizar estimativas rápidas, demandam um tempo de aplicação consideravelmente menor do que o hidrometeorológico. Estes métodos são aplicáveis a bacias hidrográficas de até 1.000 km<sup>2</sup>, apesar de já terem sido utilizados para áreas muito maiores.

### **2.2.1 Métodos Hidrometeorológicos**

Os métodos hidrometeorológicos consistem basicamente na maximização da umidade presente na atmosfera. A água na atmosfera pode ser invisível, na forma de vapor, ou visível, na forma de neblina ou de nuvens, dependendo da altitude. Quando a água presente na atmosfera supera um limite denominado umidade de saturação, então ocorre a precipitação. O valor deste limite é variável conforme a temperatura (SUGAI, 1989).

A maior quantidade de chuva possível de ocorrer sobre uma localidade relaciona-se diretamente com a quantidade de vapor de água presente em partes da atmosfera que contribuem para a precipitação em questão.

A quantidade de vapor de água sobre uma dada região pode tanto crescer quanto decrescer temporariamente. Quando ocorre a evaporação das superfícies líquidas e das camadas superficiais do solo, a transpiração da vegetação e a entrada de uma massa de ar com maior umidade, a quantidade de vapor de água cresce. Por outro lado, através da precipitação ou pelo deslocamento de uma massa de ar substituindo o ar úmido por outro mais seco, a quantidade de vapor de água decresce (SUGAI, 1989).

Os métodos hidrometeorológicos procuram estimar a PMP através da maximização do teor de umidade presente na atmosfera considerando condições meteorológicas críticas que podem ocorrer na região em estudo.

### 2.2.2 Métodos Estatísticos

Dentre os métodos estatísticos existentes, o que recebeu maior aceitação foi o proposto por Hershfield (WMO, 2009).

O procedimento do método de Hershfield é baseado na equação geral da frequência apresentada por Ven Te Chow (*apud* WMO, 2009: 66):

$$X_T = \bar{X}_n + K_T \cdot S_n \quad (2.1)$$

onde  $X_T$  corresponde à chuva para um tempo de recorrência  $T$ , e  $\bar{X}_n$  e  $S_n$  são respectivamente a média e o desvio padrão da série de  $n$  máximas anuais.  $K_T$  é o fator de frequência.

Hershfield considerou que para a estimativa da PMP existe um valor de  $K_T$  que não será excedido, e utilizou a equação geral de frequência da seguinte forma:

$$X_{PMP} = \bar{X}_n + K_m \cdot S_n \quad (2.2)$$

onde  $X_{PMP}$  corresponde à precipitação máxima provável para uma determinada duração e local, e  $\bar{X}_n$  e  $S_n$  são respectivamente a média e o desvio padrão da série de  $n$  valores de chuvas máximas anuais para uma determinada duração.  $K_m$  é o fator de frequência.

Para avaliar o fator de frequência, Hershfield analisou as séries de chuvas máximas anuais com duração de 24 horas pertencentes a 2.645 estações localizadas em sua maior parte nos Estados Unidos.

Os valores dos fatores de frequência  $K_m$  para cada uma das estações foram calculados substituindo-se na equação geral de frequência, o valor de  $X_T$  pela máxima precipitação observada no local  $X_{MÁX}$ , e utilizando a média e o desvio padrão da série excluindo o valor  $X_{MÁX}$ , conforme a seguinte equação:

$$K_m = \frac{X_{MÁX} - \bar{X}_{n-1}}{S_{n-1}} \quad (2.3)$$

O maior valor encontrado para o fator  $K_m$  de todas as estações foi 15. A princípio Hershfield acreditou que os valores de  $K_m$  eram independentes da magnitude da chuva e, portanto concluiu que a PMP em qualquer caso poderia ser estimada adotando  $K_m = 15$ . Porém mais tarde, em 1965, constatou que o fator de frequência varia inversamente com a média da série de chuvas máximas anuais. De acordo com Hershfield, o valor de 15 para o fator de frequência seria muito alto para locais chuvosos e muito baixo para locais áridos, além de ser alto para precipitações com duração inferior a 24 horas (KOUTSOYIANNIS, 1999).

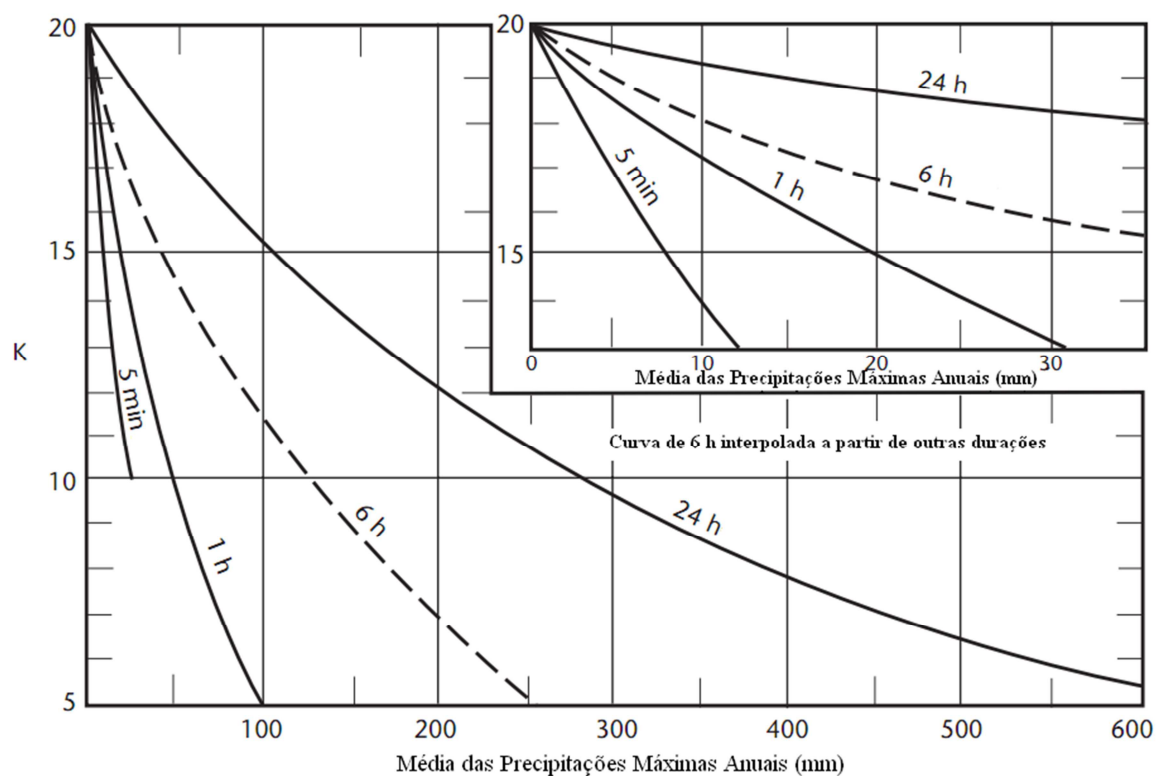
Em decorrência desta descoberta, Hershfield definiu curvas envoltórias superiores para as durações de chuva de 5 minutos, 1 e 24 horas, onde  $K_m$  pode ser determinado a partir da média das precipitações máximas anuais de duração  $d$ . A curva para duração de 6 horas foi obtida por interpolação (CORREIA, 1983). A Figura 2.1 apresenta estas envoltórias e indica um valor máximo para  $K_m$  de 20 (SUGAI, 1989).

A equação (2.2) e a Figura 2.1 constituem a base do método estatístico de Hershfield para a estimativa da PMP.

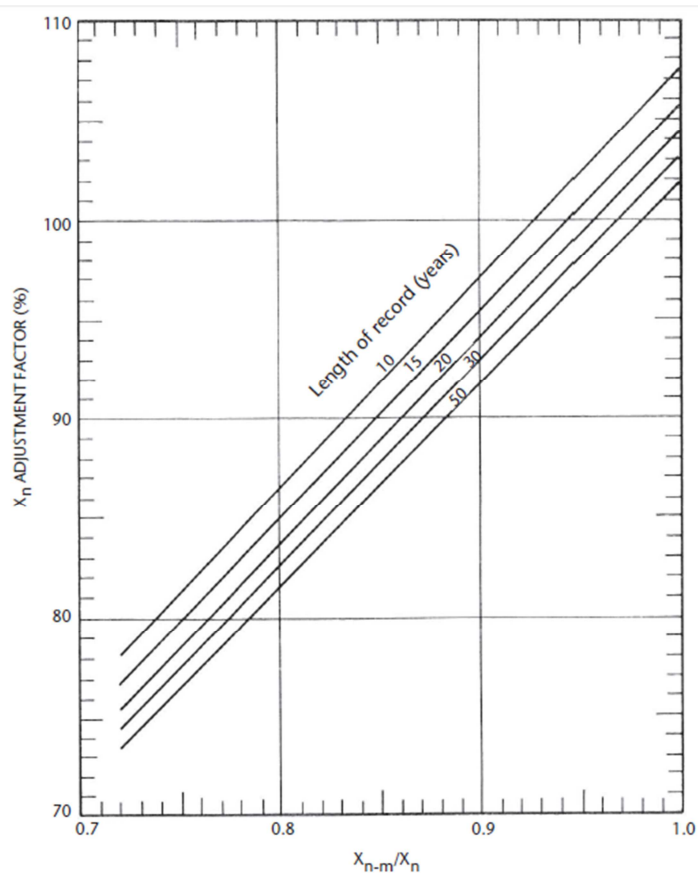
Em seguida, Hershfield desenvolveu métodos para o ajuste da média e do desvio padrão das séries em estudo, em função da presença de valores atípicos e também do tamanho da amostra.

Valores de chuva com magnitude e ocorrência raras, chamados de *outliers*, podem influenciar nos valores da média e do desvio padrão das séries anuais. A influência do *outlier* é tão maior quanto menor for a extensão da série. Hershfield estudou este efeito, e a Figura 2.2 e Figura 2.3 apresentam os ajustes sugeridos de  $\bar{X}$  e  $S$  respectivamente para compensar os valores atípicos da amostra.

A média e o desvio padrão das séries anuais tendem a aumentar com o tamanho da amostra, uma vez que a distribuição de frequência de valores extremos de chuva é assimétrica com a cauda para a direita. A Figura 2.4 apresenta os ajustes sugeridos de  $\bar{X}$  e  $S$  conforme o tamanho da amostra.

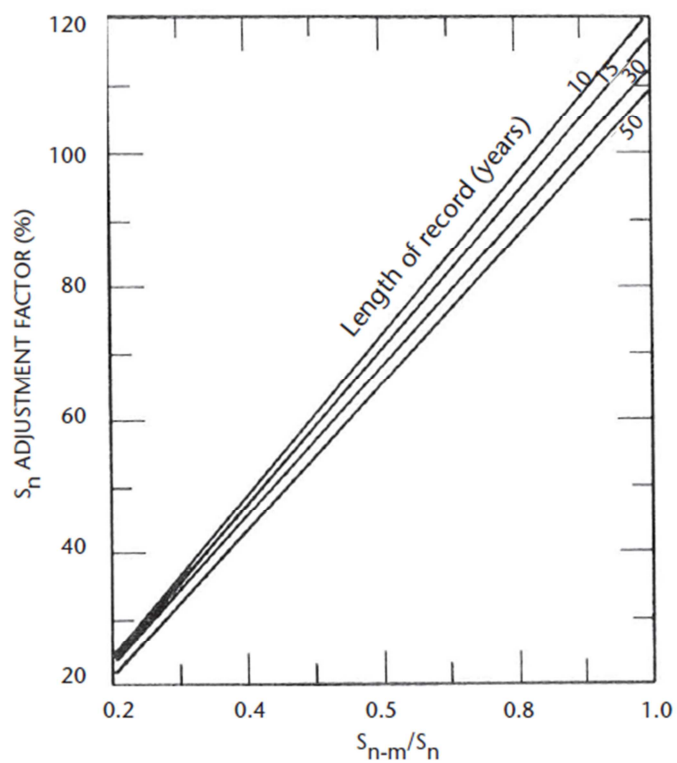


**Figura 2.1 –  $K$  em função da duração da chuva e da média das precipitações máximas anuais com durações de 5 min, 1 h, 6 h e 24 h (WMO, 2009)**

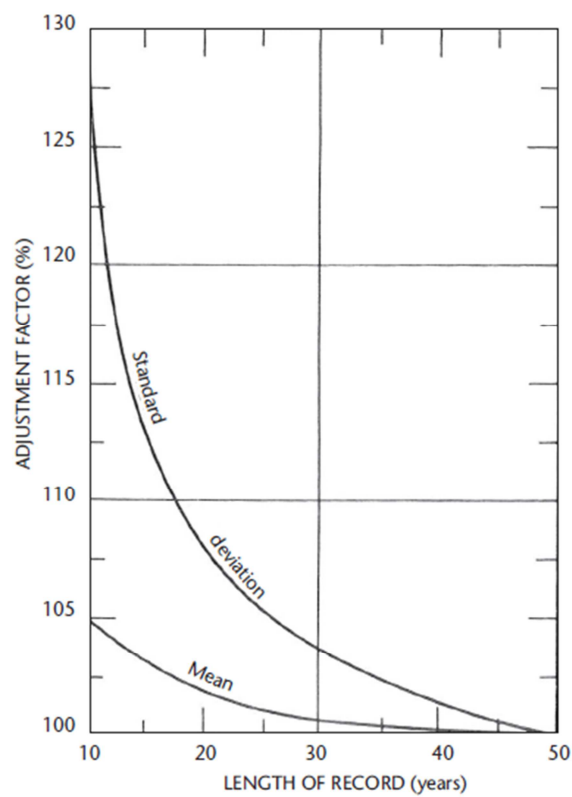


**Figura 2.2 – Ajuste da média das séries anuais para valores atípicos (WMO, 2009)**





**Figura 2.3 – Ajuste do desvio padrão das séries anuais para valores atípicos (WMO, 2009)**



**Figura 2.4 – Ajuste da média e do desvio padrão das séries anuais em função do tamanho da série (WMO, 2009)**

Sugere-se também realizar outro ajuste à PMP quando se utiliza o método estatístico, que é função do tamanho da área da bacia hidrográfica. Tendo em vista que o procedimento de cálculo do método de Hershfield foi desenvolvido para dados de chuva pontuais, faz-se necessário reduzir os valores pontuais. As curvas devem ser desenvolvidas especificamente para o local do projeto.

Os procedimentos necessários para a estimativa da PMP pelo método de Hershfield estão descritos a seguir:

- a) Cálculo da média  $\bar{X}_n$  e do desvio padrão  $s_n$  considerando toda a amostra;
- b) Cálculo da média  $\bar{X}_{n-1}$  e do desvio  $s_{n-1}$  excluindo da série o valor máximo observado;
- c) Ajuste de  $\bar{X}_n$  e  $s_n$  devido à presença de um valor atípico na série através dos gráficos da Figura 2.2 e da Figura 2.3 respectivamente, e devido ao tamanho da série a partir do gráfico da Figura 2.4.
- d) Obtenção do valor de  $K_m$  na Figura 2.1 em função do valor da média ajustada, para a duração desejada;
- e) Cálculo da PMP pontual através da equação (2.2).

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

DHAR *et al.* (1981) calcularam a PMP estatística para a região sul da península da Índia com o objetivo de preparar um mapa da distribuição da PMP no local. DHAR *et al.* usaram séries de chuvas máximas de 1 dia de duração provenientes de 600 estações pluviométricas, com extensões variando de 70 a 80 anos.

TINGSANCHALI e TANMANEE (2012), com o objetivo de verificar a capacidade do vertedouro da barragem Mae Sruai na Tailândia, determinaram a PMP estatística para durações de 1, 2 e 3 dias. A estimativa foi feita utilizando-se o mesmo método estatístico utilizado por Hershfield, onde os fatores de frequência  $K$  foram calculados a partir das séries anuais de chuvas máximas observadas de cada duração. A estimativa da PMP para cada duração foi realizada adotando-se o maior  $K$  encontrado entre as estações pluviométricas estudadas.

DESHPANDE *et al.* (2008) também estimaram a PMP estatística para durações de 1 a 3 dias em 210 estações localizadas na Índia, almejando avaliar o período de retorno associado a estes resultados. Entretanto, o cálculo da PMP foi feito adotando-se o fator de frequência encontrado na curva envoltória construída a partir da plotagem dos valores médios das séries anuais de chuvas máximas e dos valores de  $K$  observados nas 210 estações, assim como fez Hershfield em seu método.

A elaboração da curva envoltória do fator de frequência também foi feita por RAKHECHA *et al.* (1992), com o objetivo de se estimar a PMP de 2 dias de duração para 131 estações localizadas na península da Índia.

Posteriormente, RAKHECHA e SOMAN (1994) estenderam o estudo para a região norte da Índia e elaboraram um mapa da região com a distribuição espacial da PMP de 2 dias, tendo como base dados de aproximadamente 80 anos para 286 estações de chuva.

CASAS *et al.* (2008) tinham o objetivo de mapear a PMP de 1 dia sobre a Catalunha em alta resolução espacial. Para isso, de posse de dados pluviométricos de 145 estações, desenvolveram uma curva envoltória do fator

de frequência para a região, a qual serviu para o cálculo da PMP estatística de 1 dia das mesmas estações. O maior valor encontrado de  $K$  foi de 8,7. A análise espacial foi feita então a partir dos resultados obtidos.

Em outro estudo, CASAS *et al.* (2011) calcularam a PMP estatística para Barcelona para durações de chuva variando entre 5 minutos e 30 horas, utilizando a mesma curva envoltória elaborada no estudo anterior de 2008. Além do método estatístico, foi utilizado também o método hidrometeorológico para estimar a PMP, cujos valores obtidos resultaram bastante similares.

DESA *et al.* (2001) estudaram uma forma de padronizar o método de cálculo da PMP estatística na Malásia, tendo em vista a prática rotineira no país da estimativa da PMP pelo método de Hershfield adotando-se um  $K$  único de 15. Segundo DESA *et al.*, o valor de 15 é considerado alto para uma região úmida como é a Malásia. Foram estudadas 33 estações com extensão de dados entre 30 a 60 anos. O maior valor de  $K$  encontrado foi de 8,7, utilizado para determinar a PMP de 24h em todas as estações. De posse dos resultados foi construído um mapa mostrando a distribuição espacial da PMP de 24h sobre a região em estudo.

Mais tarde, DESA e RAKHECHA (2007) estudaram outras estações de chuva localizadas em uma diferente região da Malásia, visando o cálculo da PMP de 24h.

Seguindo o mesmo método utilizado por DESA *et al.* (2001), GHAHRAMAN (2008) estudou 30 estações pluviométricas localizadas na bacia hidrográfica do rio Atrak no Irã, e determinou a distribuição espacial da PMP de 1 dia para esta região.

No Brasil, GALVÍNCIO e SOUSA (2002) determinaram a PMP estatística para o estado da Paraíba usando o maior valor de  $K$  encontrado entre as 72 estações pluviométricas analisadas. Concluíram que o período de retorno associado a este  $K$  era muito pequeno para dimensionar extravasores de barragem.

Ainda no Brasil, SUGAI (1989) calculou a PMP de 1 e 2 dias para a região sul, utilizando o método de Hershfield com um valor de  $K$  adaptado às condições da região de estudo. Os valores de  $K$  foram determinados para as

130 estações pluviométricas avaliadas para durações de 1 e 2 dias. A partir destes resultados, foi determinada uma envoltória superior constante igual a 9 para ambos os casos, valor bastante abaixo do recomendado por Hershfield, de 15, para a faixa de precipitações médias das estações. Em seu estudo, SUGAI (1989) não identificou nenhuma tendência geográfica nas variações dos fatores de frequência  $K$ . Os valores obtidos para a PMP resultaram com período de retorno superiores a 100.000 anos.

CARVALHO (2000) obteve um modelo regional para a estimativa da PMP para durações de 1 a 4 dias em qualquer ponto do estado do Paraná, localizado na região sul do Brasil. Para isso, foram utilizadas 45 estações meteorológicas distribuídas no estado e estimada a PMP para cada estação através do método hidrometeorológico. A análise regional da PMP de 1 a 4 dias foi feita pelo modelo de regressão log-linear com os parâmetros estimados pelo método dos mínimos quadrados ponderados (WLS).

Uma formulação alternativa ao método estatístico de Hershfield para a estimativa da PMP foi proposta por KOUTSOYIANNIS (1999). Com base nos mesmos dados utilizados por Hershfield, Koutsoyiannis mostrou que a estimativa de PMP de Hershfield utilizando um fator de frequência igual a 15 pode ser obtida usando a distribuição GEV (Generalizada de Valores Extremos) com parâmetro de forma dado por uma função linear da precipitação média anual máxima e com um período de retorno de cerca de 60.000 anos. Este método substitui o uso dos gráficos empíricos propostos por Hershfield.

Comparando-se os resultados obtidos nestes estudos, pode-se observar a sua variabilidade conforme a região analisada, o número de estações utilizadas e o período estudado. A extensão das séries de chuvas máximas anuais adotadas nestes estudos variou de 15 a 90 anos, e o número de estações analisadas variou de 30 a 600.

Os maiores valores encontrados do fator de frequência  $K$  também variaram conforme a região de estudo. Na Catalunha, o maior valor encontrado foi de 8,7, no Irã 9,63, na Malásia 8,7 e 13,3 no norte da Índia. Na Paraíba o maior  $K$  encontrado foi 6. Em alguns estudos, o maior valor de  $K$  encontrado foi adotado para a estimativa da PMP na região, enquanto em outros foi estabelecida uma relação entre o fator de frequência e o valor médio das

chuvas máximas resultando em uma envoltória similar à estabelecida por Hershfield.

Os estudos que verificaram o tempo de recorrência associado à PMP chegaram a valores de 1.000 a 900.000 anos. E dentre os que compararam os resultados do método estatístico com os do método hidrometeorológico, alguns chegaram a valores similares e outros não, dependendo principalmente da extensão dos dados utilizados para a estimativa do fator de frequência.

Com isso pode-se constatar, assim como a WMO (2009) afirmou, que os procedimentos para a estimativa da PMP variam com a quantidade e qualidade dos dados disponíveis, tamanho da bacia hidrográfica e localização, clima, dentre outros fatores.

## 4. MODELOS PROPOSTOS

Neste capítulo são apresentados os modelos desenvolvidos neste trabalho para viabilizar a aplicação do método estatístico de Hershfield para a estimativa da PMP com durações que variam de 1 hora a 10 dias.

O primeiro deles refere-se a um modelo para a representação matemática do gráfico de Hershfield que foi feito através do ajuste de um modelo não linear. O método dos mínimos quadrados foi aplicado usando-se um algoritmo de recozimento simulado para estimar os parâmetros.

O segundo trata da estimativa de fatores  $K$  adequados para a duração da chuva e a região em estudo, através da determinação de faixas de confiança para  $K$  utilizando-se dados observados e o método de Monte Carlo.

### 4.1 Modelo de representação matemática do gráfico de Hershfield

Para a elaboração deste modelo, foi realizada uma análise do gráfico apresentado na Figura 2.1 definido por Hershfield, com o objetivo de equacionar as envoltórias propostas e verificar a possibilidade de extrapolação das curvas para durações maiores do que aquelas apresentadas.

Foram levantados do gráfico da Figura 2.1, 28 pontos representativos das envoltórias de durações de 5 minutos, 1 e 24 horas visando o ajuste de uma equação às curvas. Tais pontos estão apresentados na Tabela 4.1.

O método escolhido para a estimativa da equação representativa das curvas apresentadas no gráfico de Hershfield foi o método dos mínimos quadrados, que foi aplicado usando-se um algoritmo de recozimento simulado.

Recozimento simulado é uma metaheurística inspirada no processo físico de recozimento de um sólido para obtenção de estados de baixa energia. Fundamenta-se no algoritmo de Metropolis, caso particular do método de Monte Carlo, que tem por objetivo determinar o macro-estado de equilíbrio de um sistema físico que se encontra numa determinada temperatura. O algoritmo funciona basicamente como um método de busca local, porém aceita movimentos de piora como forma de escapar de ótimos locais.

PEREIRA e VASCONCELOS (2013) justificam o uso da técnica do recozimento simulado para solucionar problemas de otimização mono-objetivo e multiobjetivo, por sua simplicidade e pelo grande sucesso atingido nos resultados obtidos.

KAVISKI *et al.* (2007) aplicaram com sucesso recozimento simulado para parametrizar curvas de intensidade de precipitação; MORENO e KAVISKI (2014) usaram recozimento simulado para otimizar a geração em usinas hidrelétricas.

A partir dos pontos apresentados na Tabela 4.1, utilizando-se os procedimentos de ajuste de modelos não lineares descritos no Apêndice A, estimou-se a equação (4.1), que representa matematicamente as curvas do gráfico de Hershfield apresentado na Figura 2.1.

$$K = 20 - \frac{0,732 \cdot \bar{P}_d^{0,693}}{(d + 0,372)^{0,420}} \quad (4.1)$$

onde:

$\bar{P}_d$  = média das chuvas máximas anuais de  $d$  horas de duração (mm);

$d$  = duração da chuva de projeto (h).

**Tabela 4.1 – Pontos levantados do gráfico da Figura 2.1**

K	Média das Chuvas Máximas Anuais		
	5 min	1 h	24 h
5	-	100	-
6	-	-	535.67
7	-	76.12	455.23
8	-	66.13	387.88
9	-	-	330.58
10	25.53	49.29	282.65
11	-	-	241.67
12	-	36.53	204.95
13	-	30.25	169.19
14	-	-	137.36
15	9.67	19.23	106.83
16	-	15.13	84.27
17	5.97	11.38	61.29
18	4.24	7.63	40.74
19	-	-	21.10
20	0	0	0

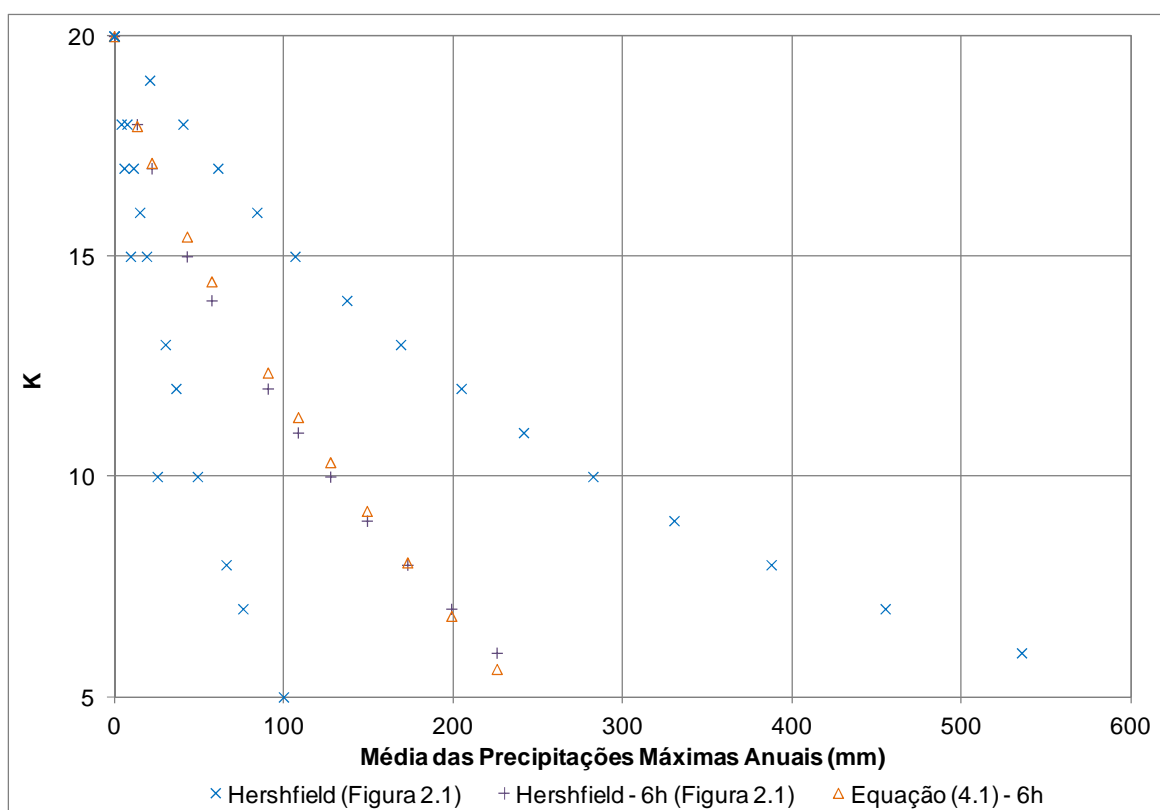


Desta forma, obteve-se um modelo para interpolação e extrapolação das curvas apresentadas no gráfico definido por Hershfield. O valor do coeficiente de correlação obtido do ajuste foi 0,995.

Com o objetivo de verificar o modelo para interpolação, foram comparados os resultados de  $K$  obtidos a partir da equação (4.1) para uma duração de chuva de 6 horas, com valores de  $K$  levantados da curva apresentada no gráfico da Figura 2.1 correspondente também a uma duração de 6 horas. Esta curva é apresentada em linha tracejada, pois é resultado de uma interpolação. Para isto, foram obtidos 11 pontos desta curva, dos quais os valores de  $K$  foram comparados partindo-se de iguais médias de precipitações máximas anuais. A partir da análise dos resultados, apresentados na Tabela 4.2 e na Figura 4.1, o modelo foi considerado adequado para a interpolação das curvas do gráfico de Hershfield.

**Tabela 4.2 – Comparação de resultados de interpolações**

$P_{\text{média}}$	$K$	
	Hershfield	Equação (4.1)
225,89	6,00	5,63
199,09	7,00	6,84
173,12	8,00	8,05
149,25	9,00	9,22
127,64	10,00	10,33
108,60	11,00	11,35
90,76	12,00	12,36
57,55	14,00	14,43
43,02	15,00	15,45
22,21	17,00	17,12
13,52	18,00	17,96
0,00	20,00	20,00

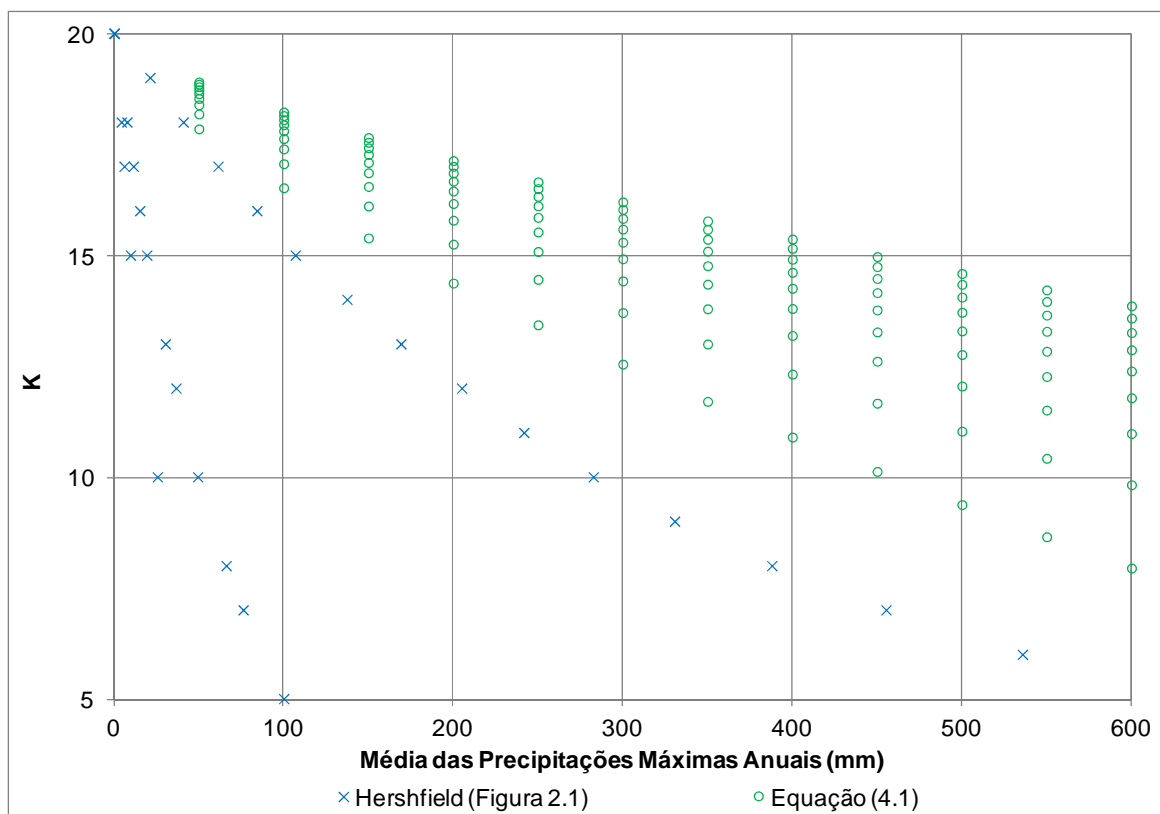


**Figura 4.1 – Comparação dos resultados das interpolações para d = 6h**

Como forma de representação do modelo para extrapolação, foram calculados a partir da equação (4.1), valores de  $K$  para durações de chuva de 2 a 10 dias. A Tabela 4.3 e a Figura 4.2 apresentam estes resultados.

**Tabela 4.3 – Resultados da extrapolação para d = 2 a 10 dias**

P <sub>média</sub>	Duração da Chuva (dias)								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50	17.84	18.18	18.39	18.53	18.64	18.72	18.79	18.85	18.90
100	16.52	17.06	17.39	17.63	17.80	17.94	18.05	18.14	18.22
150	15.39	16.10	16.55	16.85	17.09	17.27	17.42	17.54	17.65
200	14.37	15.25	15.79	16.16	16.44	16.67	16.85	17.00	17.13
250	13.43	14.45	15.08	15.52	15.85	16.11	16.32	16.50	16.65
300	12.54	13.70	14.42	14.92	15.29	15.58	15.83	16.03	16.20
350	11.70	12.99	13.79	14.34	14.76	15.09	15.35	15.58	15.77
400	10.90	12.31	13.19	13.79	14.25	14.61	14.90	15.15	15.36
450	10.12	11.66	12.61	13.27	13.76	14.15	14.47	14.74	14.97
500	9.37	11.03	12.05	12.76	13.29	13.71	14.05	14.34	14.58
550	8.65	10.42	11.50	12.26	12.83	13.28	13.65	13.95	14.21
600	7.94	9.82	10.98	11.78	12.39	12.86	13.25	13.58	13.85



**Figura 4.2 – Resultados da extrapolação para  $d = 2$  a 10 dias**

#### **4.2 Modelo de simulação para a estimativa do fator de frequência usando dados amostrais**

O desenvolvimento do modelo de simulação consistiu em uma análise para a obtenção de um método com o objetivo de estimar valores do fator de frequência  $K$  para diversas durações de chuva utilizando-se dados observados de precipitação.

No método de Hershfield, os valores do fator de frequência  $K$  foram calculados tendo como base as séries históricas de precipitação para as estações que estudou. O cálculo foi feito substituindo-se na equação geral de frequência o valor de  $X_T$  pela máxima precipitação observada no local  $X_{M\acute{A}X}$ , e utilizando a média e o desvio padrão da série excluindo o valor  $X_{M\acute{A}X}$ .

Entretanto, ao utilizar esta forma de cálculo baseada nos dados históricos das estações, há uma incerteza nos resultados obtidos para  $K$  devido à extensão do período de dados amostrais disponíveis, que em muitos casos é curta.

Com o objetivo de obter estimativas que resultem em valores para a PMP, foi elaborado um método computacional para geração de séries sintéticas de precipitações máximas anuais de  $d$  dias de duração, utilizando-se um modelo auto-regressivo multivariado de primeira ordem AR(1) segundo a distribuição log-normal a 3 parâmetros, para o cálculo do parâmetro  $K$ . A partir destes resultados foram determinadas faixas de confiança para  $K$  usando o método de simulação de Monte Carlo.

Na literatura existem centenas de trabalhos que ilustram a aplicação do modelo AR(1) para solucionar problemas de engenharia hidrológica. GUJARATI (2000) justifica o uso deste modelo não somente por sua simplicidade, mas também por se mostrar adequado e útil na maioria das aplicações. Nesta dissertação também se justifica o uso do modelo AR(1) dado que as séries temporais simuladas são na maioria das vezes independentes serialmente e quando não são estacionárias são transformadas em séries estacionárias. De acordo com MAIDMENT (1993), modelos auto-regressivos de baixa ordem são amplamente utilizados para modelagem de séries temporais hidrológicas anuais, sendo este mais um fator observado para a escolha do modelo AR(1) neste trabalho.

A escolha da distribuição de probabilidades deve ser realizada analisando-se os dados observados. Para o estudo de caso apresentado no Capítulo 5, verificou-se que a distribuição log-normal a 3 parâmetros é a que melhor se ajusta às séries de precipitações máximas anuais.

Os modelos de geração de processos estocásticos, em sua maioria, lidam diretamente com variáveis aleatórias distribuídas normalmente. Entretanto, os dados hidrológicos não são sempre descritos adequadamente pela distribuição normal. De forma geral, as distribuições de dados hidrológicos possuem assimetria positiva, com um limite inferior perto de zero e uma cauda para a direita, assemelhando-se às distribuições gama ou log-normal, como foi observado nos dados utilizados neste estudo.

Uma das alternativas para solucionar este problema é gerar variáveis aleatórias normais e transformá-las com a distribuição marginal desejada. Escolhas comuns para a distribuição são as distribuições log-normal a 2

parâmetros e a 3 parâmetros, ou a distribuição gamma. No Apêndice B está explicado o procedimento adotado para realizar esta transformação.

Outra consideração adotada no modelo foi a análise conjunta das séries de diferentes durações para cada estação. BURGER e KAVISKI (2013) observaram que os valores de  $K$  estimados pelo modelo de simulação não resultaram crescentes com o aumento da duração da chuva, sendo um dos possíveis motivos para isso, a utilização de probabilidades independentes no modelo, uma para cada duração de chuva, não considerando a estrutura de correlação entre as séries com diferentes durações. Posteriormente, no Capítulo 6, será visto que, na realidade, para durações de chuva de 1 a 10 dias, os valores de  $K$  decrescem com o aumento da duração da chuva.

No Apêndice C descreve-se o modelo multivariado adotado para geração de séries sintéticas de precipitações máximas anuais.

O método de simulação Monte Carlo (MSMC) é o procedimento usado para solucionar, por representação, problemas de determinação de parâmetros de hipotéticas populações, sendo que, por meio do uso de sequências de números aleatórios são construídas amostras da população, as quais são usadas para determinar estimativas estatísticas dos parâmetros (HEERMANN, 1990).

O MSMC é uma ferramenta matemática comumente utilizada em diversos segmentos da ciência e da engenharia para simular problemas que podem ser representados por processos estocásticos.

Em diversas aplicações práticas do MSMC, o processo físico é simulado diretamente sem a necessidade de se descreverem as equações matemáticas que representam o comportamento do sistema, sendo que o único requisito necessário é que o processo físico possa ser descrito por funções densidade de probabilidade, que delineiam o processo físico do fenômeno observado.

Em outras palavras, solucionar um problema com o método de simulação de Monte Carlo consiste em realizar uma simulação matemática do fenômeno físico de interesse ao invés de solucionar a equação ou conjunto de equações que o regem.

O que se espera do método é uma boa estimativa do valor exato à medida que um número suficientemente grande de amostragens é processado. Este aspecto explica a relação do aumento do uso dessa técnica concomitantemente ao avanço tecnológico na área computacional.

O MSMC é alimentado por geradores de números aleatórios utilizados para a amostragem dos vários fenômenos que ocorrem durante os processos de interesse. Essas amostragens são realizadas através das distribuições de probabilidade conhecidas e que caracterizam os processos referentes aos fenômenos físicos. Como resultado, obtêm-se valores médios que estão relacionados com grandezas físicas integrais de interesse.

Segundo OCCHIPINTI (1989) quando se dispõe de séries históricas de longo período de uma rede de estações com dados fidedignos, pode-se estimar a probabilidade de excedência das chuvas máximas de diferentes durações para diferentes pontos da região, bem como para a área da bacia hidrográfica de projeto. A análise de frequência permite determinar a chuva de projeto correspondente a um período de retorno pré-estabelecido. Esta permite também verificar a probabilidade de excedência da PMP estimada.

Em função do conceito da PMP, somente existe sentido se distribuições de frequência assintóticas ajustarem-se às chuvas máximas. A assíntota da distribuição deveria coincidir com a PMP. Isto equivale a dizer que a probabilidade de não excedência da PMP deve tender a zero. Este deveria ser o ponto de convergência e de coerência das abordagens determinística e probabilística da estimativa da PMP. Entretanto, pela deficiência de dados e pela oposição das abordagens tal convergência nem sempre tem constituído preocupação dos hidrólogos. Pelo contrário, tem constituído ponto de divergência e polêmica (OCCHIPINTI, 1989).

Neste trabalho propõe-se um método para determinação dos fatores  $K$ , que quando aplicados na equação (2.2), resultam em valores assintóticos para a precipitação.

A sequência de passos para o cálculo do parâmetro  $K$  está descrita a seguir:

- a) Da série histórica de precipitações são obtidos os valores referentes às precipitações máximas anuais com duração  $d$ :  $p(i)$ ,  $i=1, \dots, n$ ;
- b) A partir da série de dados  $p$ , é estimado o fator  $K$  amostral;
- c) Com os dados da série  $p$  são estimados parâmetros do modelo auto-regressivo de primeira ordem log-normal AR(1);
- d) Usando o modelo AR(1) são geradas  $m$  séries sintéticas com tamanho  $n$ , e o fator  $K$  é estimado para cada série sintética, obtendo  $K_s(i)$ ,  $i=1, \dots, m$ ;
- e) A série de parâmetros  $K_s$  é classificada em ordem crescente. Em função do índice referente à ordem de classificação ( $j$ ) é associada uma frequência relativa  $f(j) = \frac{100j}{m}$ . Desta forma determina-se a distribuição de probabilidades amostral do fator  $K$  associada com a série histórica analisada;
- f) Usando-se a distribuição amostral de  $K$ , é definido o limite superior da faixa de confiança do parâmetro  $K$ . Adota-se como o fator de frequência  $K$  de projeto o limite superior da faixa de confiança de 99,9%.

Para que o modelo de simulação possa ser aplicado às séries de máximos anuais das estações em estudo, é necessário verificar se as mesmas apresentam a condição de estacionariedade, tendo em vista que o modelo se baseia em informações presentes nos dados históricos para a estimação de seus parâmetros, tais como as características estatísticas da série observada, que são mantidas nas séries sintéticas geradas.

As séries de máximos anuais foram submetidas a uma análise de estacionariedade, a qual está apresentada no item 5.2.2. Neste mesmo item, há também a explicação do procedimento adotado para a correção das séries identificadas como não estacionárias, o que foi necessário para que pudessem ser utilizadas no modelo.

## 5. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo apresenta-se o estudo de caso realizado para a aplicação dos modelos propostos neste trabalho. Além da região escolhida para o estudo, são mostradas as estações pluviométricas selecionadas e os critérios adotados para sua escolha, sendo um deles a análise dos componentes principais. São apresentados mapas do estado do Paraná com a localização das estações pluviométricas selecionadas. Em seguida estão descritos os procedimentos seguidos para o processamento dos dados de precipitação e definição das séries de máximos anuais. Estas séries foram submetidas a análises de distribuição de probabilidade e estacionariedade, cujos resultados estão apresentados neste capítulo. A região escolhida para o desenvolvimento do estudo de caso foi o estado do Paraná.

O Paraná está localizado na região sul do Brasil, entre os paralelos de 22° e 27° (Sul) e os meridianos de 48° e 55° (Oeste). Faz fronteira com os estados do Mato Grosso do Sul a noroeste, de São Paulo ao norte e leste e de Santa Catarina ao sul, além da Argentina a sudoeste, do Paraguai a oeste e do oceano Atlântico a leste. Sua área é de aproximadamente 200.000 km<sup>2</sup> e o clima é subtropical úmido. Com relação ao seu relevo, 52% do território são superiores a 600 m, 89% ficam acima de 300 m e somente 3% são inferiores a 200 m.

O estado é dividido em três regiões hidrográficas, a do Atlântico Sul, do Atlântico Sudeste e do Paraná, que compreendem as 16 bacias hidrográficas listadas a seguir: Bacia do Rio das Cinzas, Bacia do Rio Iguaçu, Bacia do Rio Itararé, Bacia do Rio Ivaí, Bacia Litorânea, Bacia do Paraná 1, Bacia do Paraná 2, Bacia do Paraná 3, Bacia do Paranapanema 1, Bacia do Paranapanema 2, Bacia do Paranapanema 3, Bacia do Paranapanema 4, Bacia do Rio Piquiri, Bacia do Rio Pirapó, Bacia do Rio Ribeira e Bacia do Rio Tibagi.

### 5.1 Estações pluviométricas adotadas

Para a aplicação dos modelos apresentados neste trabalho foram coletados os dados de estações meteorológicas automáticas e telemétricas do Instituto Tecnológico Simepar, com registros contínuos de precipitação, e de



estações pluviométricas convencionais com duas leituras diárias junto ao Instituto das Águas do Paraná (AGUASPARANÁ).

As estações do Simepar disponíveis para a região de estudo foram adotadas em sua totalidade por se constituírem de apenas 37 estações. A extensão dos dados destas estações varia de 3 a 16 anos, porém 80% delas possuem pelo menos 15 anos de dados. As observações são horárias.

As estações convencionais disponíveis, localizadas no estado do Paraná e cercanias, totalizam aproximadamente 1.200 estações. O primeiro critério para seleção das estações foi a escolha das que estão em operação com extensão de dados de pelo menos 30 anos, resultando em 573 estações. Em seguida, através da utilização do método de análise dos componentes principais (Apêndice D), foram escolhidas 41 estações convencionais para o estudo. Estas estações foram plotadas no mapa do Paraná para verificação da distribuição espacial das mesmas. A partir da análise deste mapa, foram selecionadas visualmente mais 9 estações, de maneira a se obter a caracterização de toda a área de interesse, o que resultou em um total de 50 estações convencionais adotadas no estudo.

A Tabela 5.1 e a Tabela 5.2 apresentam respectivamente a relação das estações do Simepar e do AGUASPARANÁ adotadas no estudo. A Figura 5.1 e a Figura 5.3 mostram a localização destas estações no mapa do Paraná.

Conforme mencionado anteriormente, pode-se observar na Tabela 5.1 que as 37 estações do Simepar possuem extensão de dados variando de 3 a 16 anos, sendo 80% delas com ao menos 15 anos de dados. As altitudes das estações se distribuem de forma uniforme entre os valores de 0 a 1.100 metros. Na Figura 5.1 verifica-se a boa distribuição das estações na área do estado do Paraná.

Com relação às estações do AGUASPARANÁ, listadas na Tabela 5.2, vê-se que suas extensões de dados variam entre 37 e 124 anos, sendo que 84% delas possuem extensões superiores a 50 anos. Da mesma forma que para as estações do Simepar, as altitudes das estações do AGUASPARANÁ são uniformemente distribuídas entre os valores de 8 e 979 metros. No mapa do Paraná apresentado na Figura 5.2 é possível observar como as estações estão bem distribuídas sobre a região de interesse.

**Tabela 5.1 – Estações automáticas e telemétricas do Instituto Tecnológico Simepar**

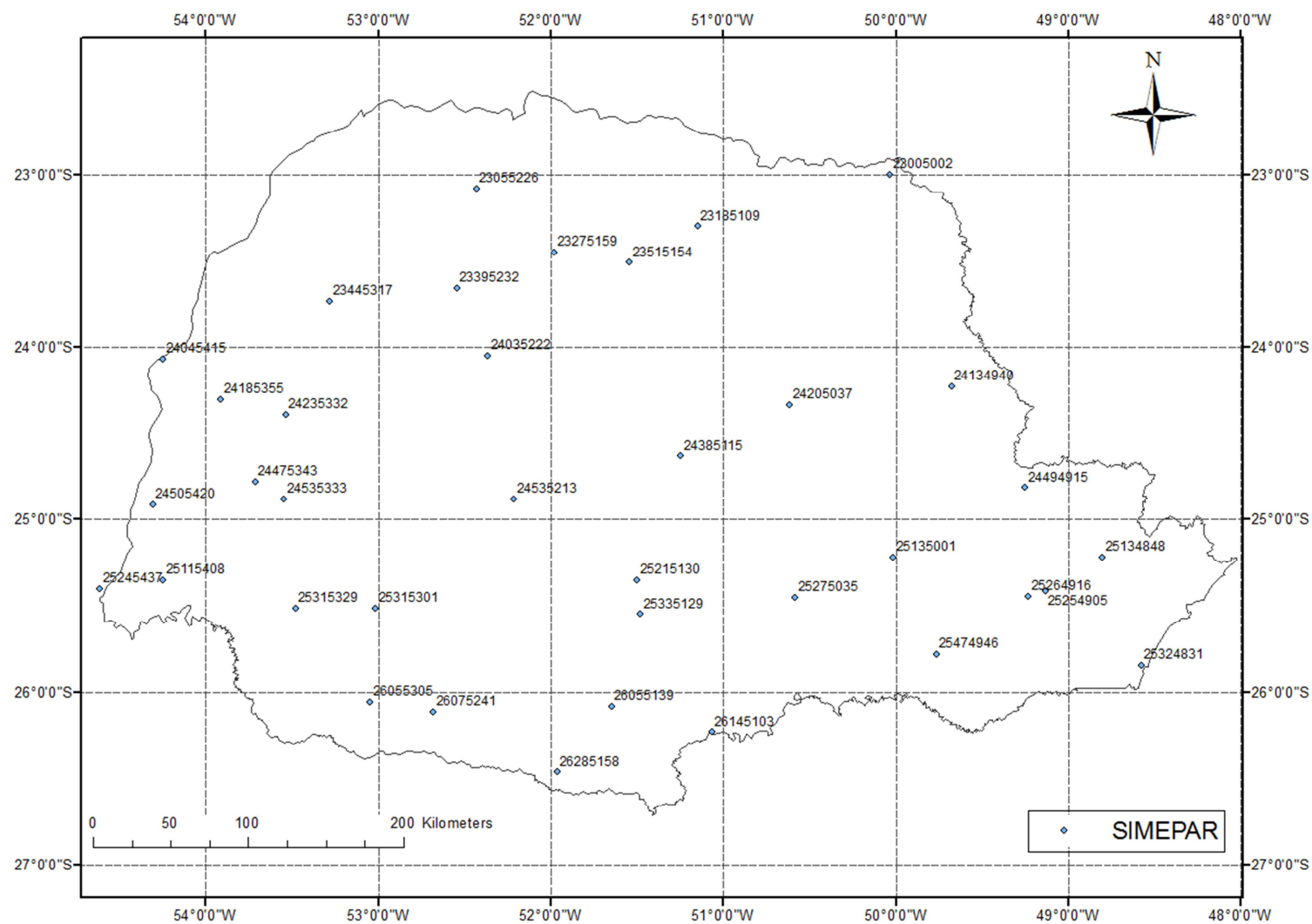
<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Município</b>	<b>Lat.</b>	<b>Long.</b>	<b>Alt.</b>	<b>Data de Instalação</b>	<b>n</b>
23005002	Cambará	Cambará	-23,0	-50,0	450,0	01/06/1997	16
23055226	Paranavaí	Paranavaí	-23,1	-52,4	480,0	01/06/1997	16
23185109	Londrina	Londrina	-23,3	-51,2	585,0	01/06/1997	16
23275159	Maringá	Maringá	-23,5	-52,0	570,0	04/10/1998	15
23395232	Cianorte	Cianorte	-23,7	-52,5	451,0	04/04/2002	16
23445317	Umuarama	Umuarama	-23,7	-53,3	480,0	01/06/1997	16
23515154	Apucarana	Apucarana	-23,5	-51,5	746,0	01/10/1999	14
24035222	Campo Mourão	Campo Mourão	-24,1	-52,4	601,2	01/06/1997	16
24045415	Guaira	Guaira	-24,1	-54,3	227,9	24/07/1997	16
24134940	Jaguariaíva	Jaguariaíva	-24,2	-49,7	900,0	07/04/2000	13
24185355	Palotina	Palotina	-24,3	-53,9	303,0	01/06/1997	16
24205037	Telêmaco Borba	Telêmaco Borba	-24,3	-50,6	768,0	01/06/1997	16
24235332	Assis Chateaubriand	Assis Chateaubriand	-24,4	-53,5	450,0	19/08/1999	14
24385115	Cândido de Abreu	Cândido de Abreu	-24,6	-51,3	645,0	01/06/1997	16
24475343	Toledo	Toledo	-24,8	-53,7	516,4	23/07/1997	16
24494915	Cerro Azul	Cerro Azul	-24,8	-49,3	366,0	01/06/1997	11
24505420	Santa Helena	Santa Helena	-24,9	-54,3	271,0	21/07/1997	16
24535213	Palmital	Palmital	-24,9	-52,2	783,0	01/06/1997	16
24535333	Cascavel	Cascavel	-24,9	-53,6	719,3	01/06/1997	16
25115408	São Miguel do Iguaçu	São Miguel do Iguaçu	-25,4	-54,3	298,0	01/06/1997	16
25134848	Antonina	Antonina	-25,2	-48,8	60,0	01/01/1999	14
25135001	Ponta Grossa	Ponta Grossa	-25,2	-50,0	885,6	01/06/1997	16
25215130	Guarapuava	Guarapuava	-25,4	-51,5	1070,0	01/06/1997	16
25245437	Foz do Iguaçu	Foz do Iguaçu	-25,4	-54,6	232,0	19/07/1997	16
25254905	Pinhais	Piraquara	-25,4	-49,1	930,0	10/07/1998	15
25264916	Curitiba	Curitiba	-25,4	-49,2	935,0	01/06/1997	16
25275035	Fernandes Pinheiro	Teixeira Soares	-25,5	-50,6	893,0	28/11/1998	15
25315301	Salto Osorio	Quedas do Iguaçu	-25,5	-53,0	514,0	22/07/1999	14
25315329	Salto Caxias	Capitão Leônidas Marques	-25,5	-53,5	440,0	24/10/1998	15
25324831	Guaratuba	Guaratuba	-25,8	-48,6	0,0	01/06/1997	16
25335129	Entre Rios	Guarapuava	-25,6	-51,5	1095,0	17/01/2001	12
25474946	Lapa	Lapa	-25,8	-49,8	909,8	01/06/1997	16
26055139	Foz do Areia	Pinhão	-26,1	-51,7	728,2	01/06/1997	16
26055305	Francisco Beltrão	Francisco Beltrão	-26,1	-53,1	652,0	02/09/2010	3
26075241	Pato Branco	Pato Branco	-26,1	-52,7	721,8	01/06/1997	16
26145103	União da Vitória	União da Vitória	-26,2	-51,1	756,5	01/06/1997	16
26285158	Palmas	Palmas	-26,5	-52,0	1100,0	28/04/1998	15

**Tabela 5.2 – Estações pluviométricas do Instituto das Águas do Paraná**

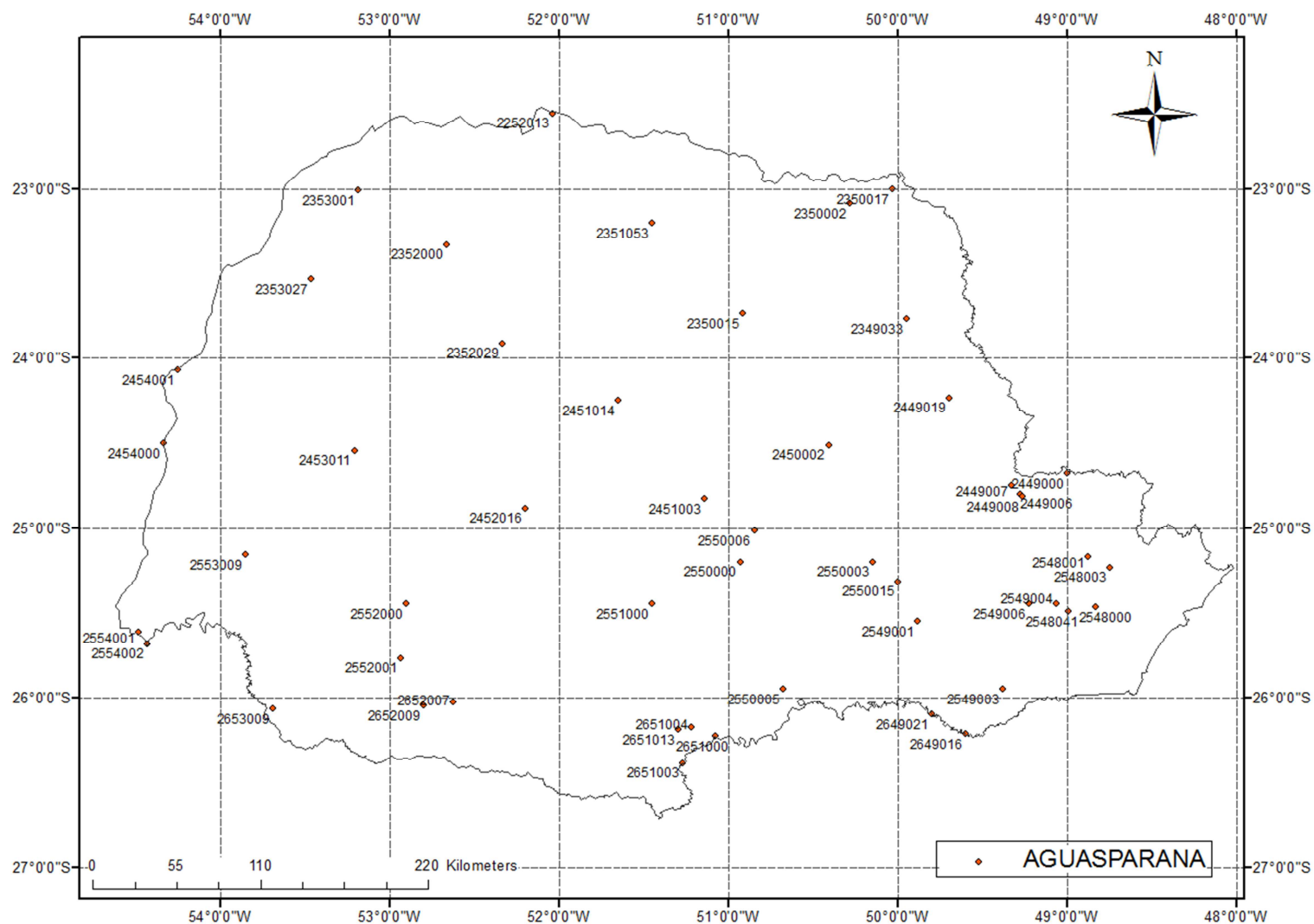
<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Município</b>	<b>Lat.</b>	<b>Long.</b>	<b>Alt.</b>	<b>Data de Instalação</b>	<b>n</b>
2252013	Jardim Olinda	Jardim Olinda	-22,6	-52,0	318,0	18/08/1975	38
2349033	Tomazina	Tomazina	-23,8	-50,0	483,0	01/07/1937	76
2350002	Andirá	Andirá	-23,1	-50,3	375,0	01/10/1945	68
2350015	Usina Apucarantina	Londrina	-23,7	-50,9	450,0	01/08/1948	65
2350017	Est. Experimental Cambará	Cambará	-23,0	-50,0	450,0	01/02/1957	56
2351053	São Martinho	Rolândia	-23,2	-51,5	653,0	11/12/1975	38
2352000	Porto Paraíso do Norte	Rondon	-23,3	-52,7	250,0	01/03/1953	60
2352029	Peabiru	Peabiru	-23,9	-52,3	527,0	22/10/1975	38
2353001	Santa Isabel do Ivaí	Santa Isabel do Ivaí	-23,0	-53,2	400,0	01/10/1957	56
2353027	Santa Eliza	Umuarama	-23,5	-53,5	441,0	09/01/1976	37
2449000	Capela da Ribeira	Adrianópolis	-24,7	-49,0	180,0	01/12/1938	75
2449006	Balsa do Cerro Azul	Cerro Azul	-24,8	-49,3	270,0	01/01/1956	57
2449007	Turvo	Doutor Ulysses	-24,8	-49,3	400,0	01/01/1946	67
2449008	Cerro Azul	Cerro Azul	-24,8	-49,3	320,0	01/11/1938	75
2449019	Jaguariaíva	Jaguariaíva	-24,2	-49,7	891,0	01/10/1917	96
2450002	Tibagi	Tibagi	-24,5	-50,4	720,0	01/04/1938	75
2451003	Tereza Cristina	Cândido de Abreu	-24,8	-51,1	550,0	01/08/1956	57
2451014	Ivaiporã	Ivaiporã	-24,3	-51,7	360,0	11/10/1955	58
2452016	Palmital	Palmital	-24,9	-52,2	890,0	15/04/1965	48
2453011	Usina Melissa	Nova Aurora	-24,5	-53,2	470,0	13/04/1967	46
2454000	Porto Mendes Gonçalves	Marechal Cândido Rondon	-24,5	-54,3	150,0	01/01/1941	72
2454001	Guaíra	Guaíra	-24,1	-54,3	218,0	01/01/1941	72
2548000	Morretes	Morretes	-25,5	-48,8	8,0	01/08/1938	75
2548001	Praia Grande	Campina Grande do Sul	-25,2	-48,9	750,0	01/07/1939	74
2548003	Colônia Cachoeira	Antonina	-25,2	-48,8	80,0	01/05/1946	67

**Tabela 5.3 – Estações pluviométricas do Instituto das Águas do Paraná (cont.)**

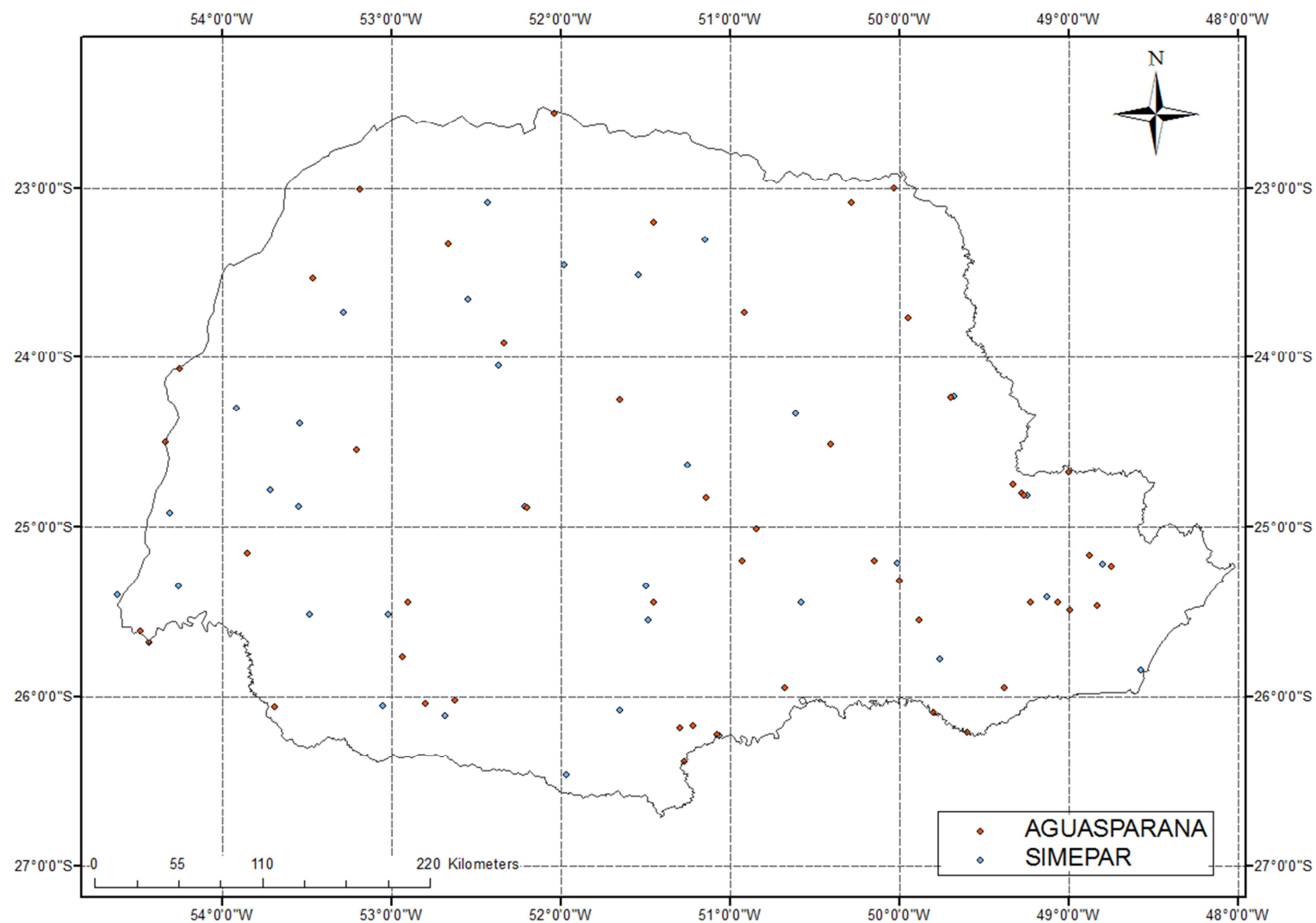
<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Município</b>	<b>Lat.</b>	<b>Long.</b>	<b>Alt.</b>	<b>Data de Instalação</b>	<b>n</b>
2548041	Mananciais da Serra	Piraquara	-25,5	-49,0	979,0	30/09/1916	97
2549001	Porto Amazonas	Porto Amazonas	-25,5	-49,9	793,0	01/09/1939	74
2549003	Rio da Várzea dos Lima	Quitandinha	-26,0	-49,4	810,0	01/09/1940	73
2549004	Piraquara	Piraquara	-25,5	-49,1	900,0	01/06/1958	55
2549006	Curitiba	Curitiba	-25,4	-49,2	929,0	01/01/1889	124
2550000	Rio dos Patos	Prudentópolis	-25,2	-50,9	690,0	01/03/1937	76
2550003	Santa Cruz	Ponta Grossa	-25,2	-50,2	790,0	01/10/1945	68
2550005	Rio Claro do Sul	Mallet	-26,0	-50,7	750,0	01/05/1948	65
2550006	Ivaí	Ivaí	-25,0	-50,8	808,0	01/01/1912	101
2550015	Usina Manoel Ribas	Palmeira	-25,3	-50,0	870,0	29/12/1955	58
2551000	Guarapuava	Guarapuava	-25,5	-51,5	950,0	01/03/1953	60
2552000	Quedas Iguaçu	Quedas do Iguaçu	-25,4	-52,9	550,0	01/08/1949	64
2552001	Águas do Verê	Verê	-25,8	-52,9	390,0	16/07/1956	57
2553009	Céu Azul	Céu Azul	-25,2	-53,9	650,0	09/08/1965	48
2554001	Parque Nacional do Iguaçu	Foz do Iguaçu	-25,6	-54,5	100,0	01/07/1941	72
2554002	Salto Cataratas	Foz do Iguaçu	-25,7	-54,4	152,0	01/08/1946	67
2649016	Rio Preto do Sul	Rio Negro	-26,2	-49,6	780,0	17/01/1951	62
2649021	Rio Negro	Rio Negro	-26,1	-49,8	824,0	01/12/1922	91
2651000	União da Vitória	União da Vitória	-26,2	-51,1	746,0	01/02/1938	75
2651003	Jangada do Sul	General Carneiro	-26,4	-51,3	800,0	01/11/1945	68
2651004	Porto Vitória	Porto Vitória	-26,2	-51,2	790,0	01/11/1945	68
2651013	Colônia Augusto Loureiro	Bituruna	-26,2	-51,3	802,0	02/09/1955	58
2652007	Porto Palmeirinha	Coronel Vivida	-26,0	-52,6	450,0	28/08/1955	58
2652009	Ponto de Vitorino	Bom Sucesso do Sul	-26,1	-52,8	550,0	01/05/1957	56
2653009	Santo Antônio do Sudoeste	Santo Antonio do Sudoeste	-26,1	-53,7	520,0	20/08/1964	49



**Figura 5.1 – Estações automáticas e telemétricas do Instituto Tecnológico Simepar**



**Figura 5.2 – Estações convencionais do Instituto das Águas do Paraná**



**Figura 5.3 – Estações do Instituto Tecnológico Simepar e do Instituto das Águas do Paraná**

## 5.2 Processamento dos dados

De posse dos dados de precipitação das estações automáticas e convencionais, os mesmos foram analisados e manipulados para que pudessem ser utilizados nos modelos propostos.

Das 573 estações convencionais, foram buscados os valores de chuvas máximas com durações de 1 a 10 dias, com intervalo de 1 dia. Desta forma, foram construídas 5.730 séries anuais de valores máximos de precipitação acumulada para as durações de 1 a 10 dias. Para a aplicação destas séries no modelo de simulação, elas foram adotadas com sua extensão de dados total, e com extensões parciais de 10, 20, 30, 40 e 50 anos, para comparação dos resultados obtidos.

A análise dos componentes principais foi aplicada independentemente para cada duração (1 a 10 dias), de onde se selecionaram grupos de estações que representassem 95% da variabilidade total contida nas variáveis originais. Associando-se os 10 grupos de estações obtidos com a ACP (Apêndice D) definiu-se o conjunto de 41 estações onde estão incluídas as estações que foram selecionadas em pelo menos um dos 10 grupos.

Para as 37 estações automáticas e telemétricas, foram pesquisados os valores de chuvas máximas com durações de 1 a 24 horas, com intervalo horário, e de 24 a 240 horas, com intervalo de 12 horas. Com isso, foram obtidas 1.554 séries anuais de valores máximos de precipitação acumulada para as 42 durações escolhidas.

### 5.2.1 Análise da distribuição de probabilidade que melhor se ajusta às séries de máximos anuais

Com o objetivo de se determinar a distribuição de probabilidades que melhor se ajusta às séries de precipitações máximas anuais para diferentes durações, visando a adoção desta distribuição no método de simulação de Monte Carlo para a geração de séries sintéticas, foi realizada uma análise tendo como base 1166 séries anuais. Destas, 666 são provenientes das estações automáticas, onde foram escolhidas 18 das 42 durações disponíveis para a análise. As durações selecionadas, em horas, são 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19,

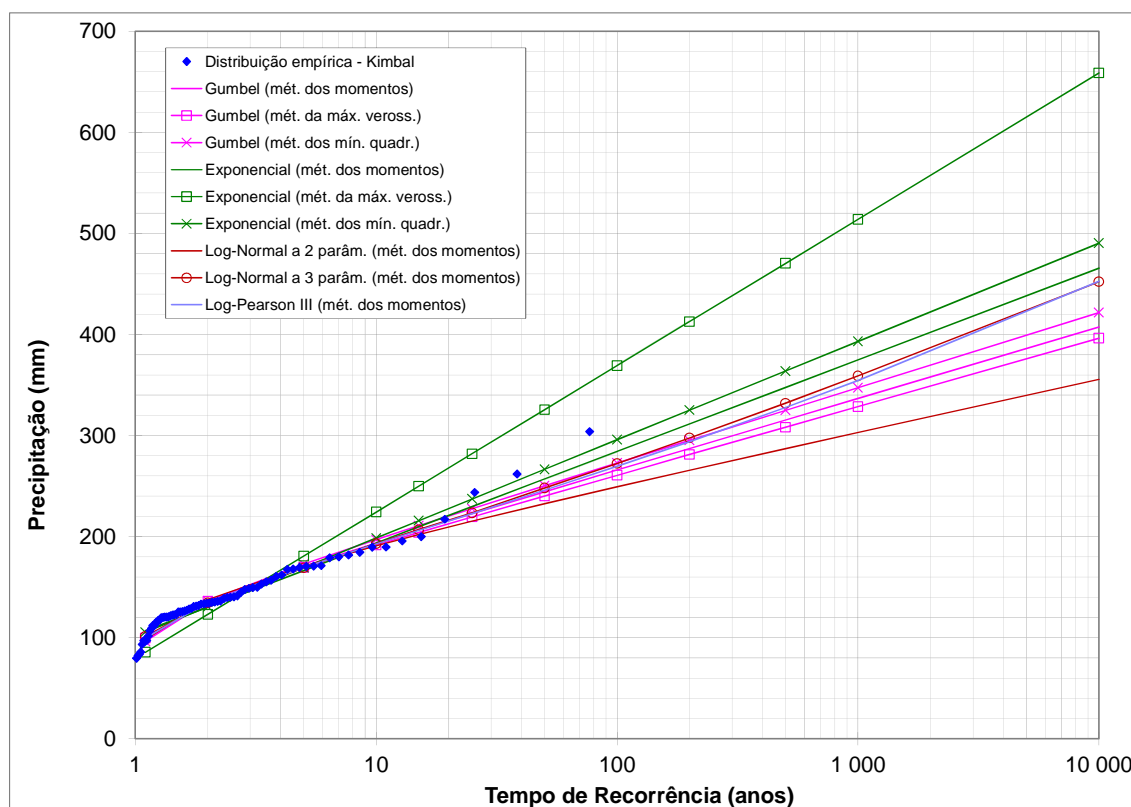


22, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 192, 216 e 240 horas. As outras 500 séries referem-se aos dados das 50 estações convencionais e suas 10 durações.

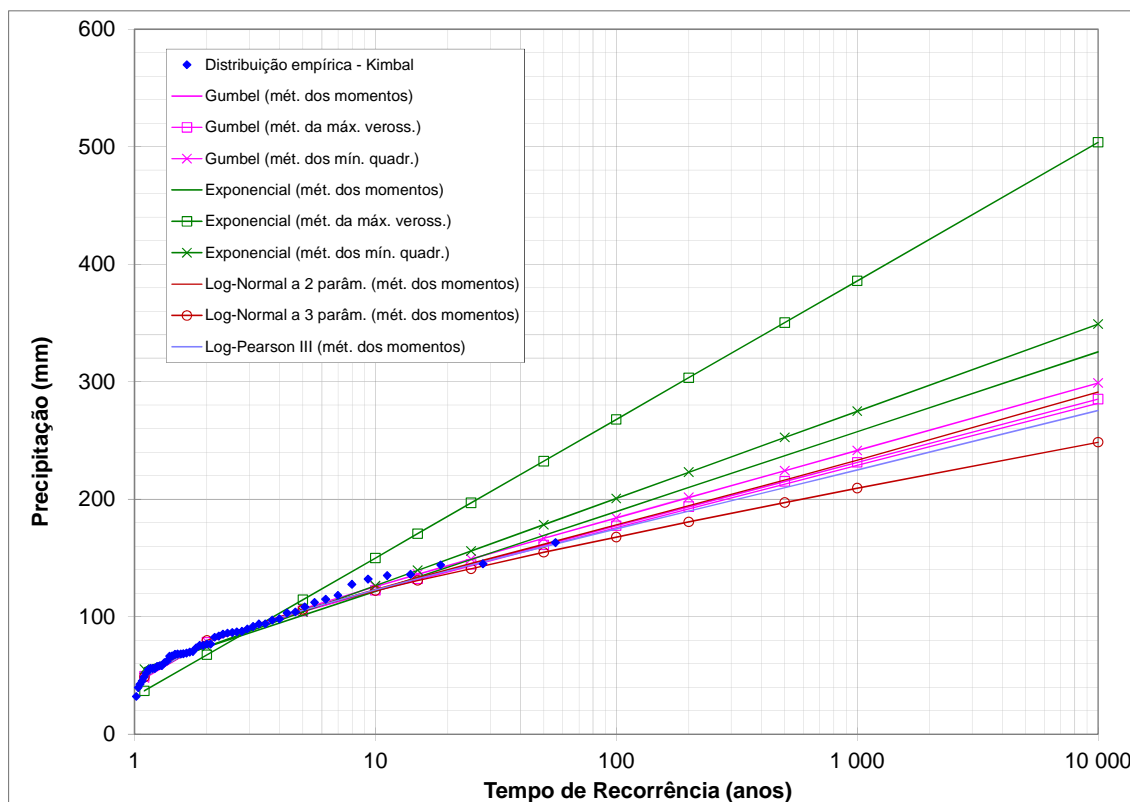
A estas séries, foram ajustadas as seguintes distribuições de probabilidade: Gumbel, Exponencial, Log-Pearson III, Log-Normal a 2 parâmetros e Log-Normal a 3 parâmetros. Foram utilizados para a estimativa dos parâmetros das distribuições, os métodos dos momentos, da máxima verossimilhança e dos mínimos quadrados.

Por meio de análise visual dos resultados obtidos, observando-se a distribuição que melhor se adapta à distribuição empírica, optou-se pela adoção da distribuição Log-Normal a 3 parâmetros, com estes estimados pelo método dos momentos.

A seguir, a Figura 5.4 e a Figura 5.5 apresentam exemplos dos ajustes obtidos.



**Figura 5.4 – Estação 2349033 - AGUASPARANÁ (d = 4 dias)**



**Figura 5.5 – Estação 2549004 - AGUASPARANÁ (d = 1 dia)**

### 5.2.2 Análise de estacionariedade das séries

Para que se possa aplicar o modelo de simulação às séries de máximos anuais das estações em estudo, é necessário verificar se as mesmas apresentam a condição de estacionariedade. Para que uma série de dados seja estacionária, suas variáveis não podem apresentar tendências e devem ser estáveis ao longo do tempo.

De acordo com DETZEL *et al.* (2011), a premissa da estacionariedade é viável para séries relativamente curtas, menor do que 30 anos, por isso todas as séries das estações automáticas, as quais apresentam extensão de no máximo 16 anos, foram consideradas estacionárias. As séries das estações convencionais foram analisadas em sua totalidade.

Existem diversos testes estatísticos para a detecção da condição de não estacionariedade em séries temporais, os quais verificam a presença de tendências positivas ou negativas nas séries. Neste estudo foi adotado o método de Mann-Kendall por ser um teste amplamente utilizado e bastante

recomendado para análise de séries temporais de variáveis hidrológicas. O teste de Mann-Kendall está descrito no Apêndice E.

Na Tabela 5.4 são apresentados os resultados encontrados para as séries de precipitações máximas anuais com durações de 1 a 10 dias das estações do Instituto de Águas do Paraná.

Os resultados são mostrados em termos de p-valores. Os p-valores representam a probabilidade de se obter uma estatística de teste maior ou menor do que a observada em uma amostra, sob a hipótese nula. Desta forma, um p-valor pequeno significa que a probabilidade de se obter uma estatística como a observada é muito improvável, o que leva à rejeição da hipótese nula, indicando a não estacionariedade da série. O nível de significância adotado foi de 5%.

Do total das 500 séries analisadas, 30% delas foram consideradas não estacionárias. Para as outras 348 séries, não foram identificadas tendências através do método aplicado. Das 50 estações em estudo, 29 apresentaram ao menos uma das séries não estacionária, para as diferentes durações de chuva. As outras 21 estações tiveram todas as suas séries diagnosticadas como estacionárias.

As séries que resultaram não estacionárias foram corrigidas através da remoção das tendências apresentadas, para que pudessem ser utilizadas no modelo de simulação.

O procedimento adotado para a construção de uma nova série considerada estacionária é chamado de padronização, e consiste na subtração da média e divisão pelo desvio padrão da variável observada. Este processo garante a remoção de tendências lineares na média e na variância.

Após a utilização das séries estacionárias corrigidas na etapa de geração de séries sintéticas do modelo de simulação, as características de não estacionariedade anteriormente presentes foram devolvidas às séries para que estas mantivessem suas tendências históricas na etapa da determinação das faixas de confiança de  $K$ .

**Tabela 5.4 – P-valores resultantes para as séries de precipitações máximas anuais das estações do Instituto das Águas do Paraná**

Código	Duração (dias)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2252013	0,097	0,247	0,108	0,108	0,047	0,014	0,021	0,125	0,102	0,167
2349033	0,003	0,155	0,657	0,171	0,309	0,612	0,587	0,493	0,412	0,330
2350002	0,071	0,164	0,033	0,032	0,009	0,020	0,044	0,145	0,167	0,068
2350015	0,007	0,273	0,319	0,091	0,031	0,029	0,026	0,015	0,022	0,026
2350017	0,360	0,717	0,571	0,217	0,228	0,114	0,072	0,070	0,143	0,038
2351053	0,044	0,237	0,042	0,056	0,039	0,014	0,031	0,087	0,191	0,339
2352000	0,511	0,375	0,191	0,579	0,511	0,329	0,183	0,170	0,209	0,275
2352029	0,269	0,407	0,218	0,421	0,530	0,940	0,763	0,821	0,801	0,513
2353001	0,045	0,160	0,244	0,118	0,061	0,136	0,299	0,299	0,211	0,118
2353027	0,628	0,610	0,948	0,927	0,724	0,666	0,456	0,340	0,205	0,224
2449000	0,000	0,004	0,010	0,011	0,044	0,059	0,061	0,063	0,091	0,131
2449006	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2449007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2449008	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,002
2449019	0,016	0,026	0,023	0,035	0,041	0,044	0,044	0,062	0,082	0,140
2450002	0,000	0,002	0,016	0,008	0,006	0,010	0,028	0,004	0,007	0,006
2451003	0,312	0,493	0,616	0,616	0,838	0,586	0,586	0,949	0,927	0,983
2451014	0,555	0,289	0,915	0,788	0,778	0,820	0,979	0,883	0,841	0,915
2452016	0,025	0,625	0,429	0,429	0,389	0,360	0,950	0,950	0,689	0,676
2453011	0,005	0,002	0,003	0,005	0,007	0,025	0,038	0,015	0,005	0,025
2454000	0,024	0,217	0,377	0,297	0,297	0,210	0,349	0,307	0,214	0,578
2454001	0,173	0,314	0,429	0,411	0,603	0,319	0,141	0,130	0,119	0,080
2548000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,009	0,015	0,021	0,058	0,061
2548001	0,128	0,121	0,182	0,151	0,173	0,221	0,336	0,283	0,247	0,318
2548003	0,081	0,611	0,619	0,689	0,974	0,673	0,770	0,462	0,314	0,270
2548041	0,629	0,456	0,159	0,161	0,224	0,306	0,288	0,196	0,152	0,133
2549001	0,055	0,095	0,484	0,057	0,073	0,100	0,229	0,263	0,309	0,346
2549003	0,742	0,032	0,301	0,157	0,081	0,073	0,051	0,070	0,068	0,093
2549004	0,622	0,338	0,264	0,400	0,663	0,828	0,684	0,695	0,542	0,571
2549006	0,004	0,050	0,169	0,165	0,084	0,128	0,056	0,016	0,017	0,021
2550000	0,000	0,003	0,012	0,047	0,018	0,039	0,021	0,019	0,031	0,023
2550003	0,035	0,177	0,217	0,242	0,177	0,080	0,055	0,027	0,045	0,062
2550005	0,009	0,019	0,069	0,019	0,016	0,044	0,027	0,149	0,224	0,290
2550006	0,242	0,246	0,481	0,442	0,252	0,294	0,147	0,109	0,115	0,111
2550015	0,143	0,453	0,863	0,951	0,736	0,984	0,907	0,842	0,973	0,896
2551000	0,002	0,159	0,223	0,519	0,069	0,017	0,016	0,033	0,049	0,096
2552000	0,785	0,099	0,170	0,146	0,085	0,081	0,029	0,068	0,050	0,051
2552001	0,005	0,128	0,496	0,286	0,158	0,094	0,042	0,068	0,066	0,058
2553009	0,093	0,274	0,908	0,369	0,259	0,298	0,290	0,324	0,315	0,472
2554001	0,937	0,987	0,731	0,600	0,747	0,593	0,338	0,264	0,365	0,638
2554002	0,906	0,627	0,831	0,915	0,713	0,644	0,877	1,000	0,877	0,644
2649016	0,228	0,317	0,471	0,264	0,487	0,382	0,187	0,487	0,503	0,579
2649021	0,001	0,002	0,005	0,004	0,034	0,010	0,009	0,015	0,009	0,008
2651000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,001	0,004
2651003	0,007	0,098	0,238	0,377	0,113	0,140	0,184	0,264	0,292	0,083
2651004	0,205	0,375	0,221	0,265	0,225	0,213	0,169	0,213	0,217	0,163
2651013	0,002	0,062	0,053	0,115	0,118	0,103	0,094	0,143	0,162	0,042
2652007	0,221	0,425	0,708	0,871	0,794	0,916	0,961	0,849	0,893	0,616
2652009	0,666	0,616	0,484	0,227	0,340	0,206	0,132	0,186	0,160	0,140
2653009	0,648	0,074	0,365	0,843	0,648	0,474	0,403	0,464	0,433	0,365

## 6. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos através da aplicação dos métodos desenvolvidos aos dados das estações pluviométricas estudadas.

Para as 37 estações automáticas, as séries foram adotadas com sua extensão de dados total, que varia entre 11 e 16 anos, com exceção da estação 26055305 que possui apenas 3 anos de dados e por isso foi excluída da análise. As durações escolhidas para a análise dos resultados foram 1h, 2h, 3h, 6h, 9h, 12h, 18h, 24h, 48h, 72h, 96h, 120h, 144h, 168h, 192h, 216h e 240h.

As séries das 50 estações convencionais foram utilizadas com sua extensão total e também com extensões parciais de 10, 20, 30, 40 e 50 anos, para análise da influência do tamanho da série no resultado de  $K$ . As durações de chuva consideradas foram de 1 a 10 dias.

A partir destas 3.629 séries de máximos anuais foram estimados os respectivos valores do fator de frequência  $K$  através da aplicação dos métodos apresentados no Capítulo 4.

Ao se utilizar o modelo de simulação foram realizadas simulações com 5.000 séries sintéticas, e foi adotado como resultado o valor de  $K$  para a faixa de confiança de 99,9%.

Os resultados do fator de frequência  $K$  para cada uma das séries analisadas, obtidos pelos dois modelos, bem como os valores resultantes a partir dos dados históricos, estão apresentados no Apêndice F.

Para as durações de chuva de até 1 dia, os resultados apresentados a partir do modelo para extrapolação representam o resultado proveniente diretamente do método de Hershfield, não se tratando de uma extrapolação nestes casos.

Algumas estações convencionais não apresentam resultados para as extensões de dados de 40 e 50 anos, pois possuem séries históricas com períodos menores que estes.

A partir da análise dos resultados para as estações automáticas, é possível constatar que para todas as estações e durações de chuva, os valores obtidos para o fator de frequência  $K$  pelos modelos propostos, de extrapolação do método de Hershfield e de simulação, são maiores do que os valores obtidos a partir das séries históricas. Os resultados provenientes do modelo de extrapolação são 4,5 vezes maiores que os do histórico, enquanto os valores do modelo de simulação são 4,2 vezes maiores.

Em 69% das vezes, os resultados do modelo de extrapolação (equação (4.1)) são maiores que os resultados do modelo de simulação, em média 28% maiores.

Com o objetivo de avaliar o método de Hershfield, foram comparados separadamente os resultados obtidos para as durações de 1h a 24h. Os valores de  $K$  obtidos pelo método de Hershfield resultaram sempre maiores que os resultados obtidos a partir do histórico, em média 3,9 vezes. A maior parte dos resultados (61%) ficaram maiores também que os obtidos pelo modelo de simulação, em média 11% maiores.

Observando-se os resultados obtidos para as estações convencionais, com extensões de dados de 10 a 50 anos e também para o período histórico completo, verifica-se que em todos os casos os valores do modelo de extrapolação são maiores que os valores obtidos do histórico, de 3,4 a 5,7 vezes maiores, sendo que esta diferença diminui conforme aumenta o período de dados utilizados.

Os fatores de frequência resultantes do modelo de simulação resultaram sempre maiores que os obtidos pelo histórico para as extensões de dados de 10 e 20 anos, respectivamente 5,3 e 2,9 vezes maiores. Para as séries com períodos de 30, 40 e 50 anos, houve alguns casos, apenas 1,2%, que os valores do modelo de simulação ficaram menores que os obtidos do histórico, em média 10% menores. Os outros 98,8% dos resultados para estas extensões de dados, resultaram em média 1,4 vezes maiores pelo modelo de simulação.

Dos resultados obtidos a partir da extensão de dados completa, pelo modelo de simulação, 2% deles resultaram menores que os valores obtidos

pelo histórico, porém, na média, os valores do modelo de simulação resultaram 1,1 vezes maiores que os do histórico.

O fato de alguns valores do fator de frequência resultarem maiores a partir da análise dos dados históricos do que pelo modelo de simulação pode acontecer devido à presença de valores pontuais muito altos de volume de chuva no período histórico, que não levam ao aumento do desvio padrão da série de dados por serem valores pontuais, e por isso os volumes de chuva gerados pelo modelo de simulação não atingem tal magnitude, o que resulta em valores de  $K$  mais baixos.

Tendo em vista que isto ocorreu somente utilizando-se as séries de dados com períodos de 30, 40 e 50 anos, é possível que outra causa para esta ocorrência tenha sido a manipulação destas séries para a extração das características de não-estacionariedade e posterior reinclusão das mesmas, causando uma perturbação nas séries sintéticas.

De forma geral para as estações convencionais, a maior parte dos valores obtidos pelo modelo de extrapolação, de 73% a 99% dependendo da extensão de dados, resultou maior que os valores do modelo de simulação. Esta diferença variou entre 33% e 111%.

Ao se comparar as diferenças entre os resultados obtidos a partir do modelo de simulação para as diferentes extensões de dados, de 10 a 50 anos, observa-se que conforme se aumenta o número de anos das séries de dados, os valores de  $K$  diminuem. Isto ocorre para a maior parte dos resultados, em torno de 70%. Os valores de  $K$  diminuem, em média, de 3% a 17% a cada aumento de 10 anos na série histórica. Os fatores de frequência para as séries de dados com 50 anos de extensão são em média 32% menores que os obtidos das séries com 10 anos de dados. Nesta comparação, 86% dos resultados diminuem com o aumento do período.

Analisando-se todos os resultados de  $K$  obtidos pelo modelo de simulação, pode-se observar que os mesmos não são crescentes com o aumento da duração da chuva. Conforme mencionado no Capítulo 4, BURGER e KAVISKI (2013) fizeram a mesma constatação em seu estudo de 2013, indicando como um dos possíveis motivos para isso a utilização de

probabilidades independentes no modelo. Neste trabalho, apesar de ter sido realizada a análise conjunta das séries de diferentes durações para cada estação, considerando a estrutura de correlação entre as mesmas, os resultados continuaram sem uma tendência de aumento com o crescimento da duração da chuva. Posteriormente, no item 6.1, será visto que, na realidade, a partir da análise dos dados históricos com durações de chuva de 1 a 10 dias, os valores de  $K$  decrescem com o aumento da duração da chuva.

### 6.1 Ajuste de envoltórias

A partir dos resultados obtidos para o fator de frequência  $K$ , procurou-se definir relações empíricas similares à definida por Hershfield em seu método, em que construiu envoltórias para as chuvas com duração de 5 min, 1 hora e 24 horas, onde o fator  $K$  pode ser estimado em função da duração da chuva e do valor médio das máximas anuais para a duração específica.

As primeiras tentativas foram feitas utilizando-se os resultados de  $K$  obtidos a partir dos dados observados de todas as estações.

Para as estações automáticas, cujas durações variam de 1h até 240h, foram definidos dois grupos de estudo. O grupo 1 contempla as durações de chuva de 1h, 2h, 3h, 6h, 9h, 12h, 18h e 24h. As outras durações, 48h, 72h, 96h, 120h, 144h, 168h, 192h, 216h e 240h ficaram no grupo 2. Para as estações pluviométricas convencionais foi feita uma análise com todas as durações de 1 a 10 dias. A estação automática 26055305 foi excluída da análise por apresentar apenas 3 anos de dados.

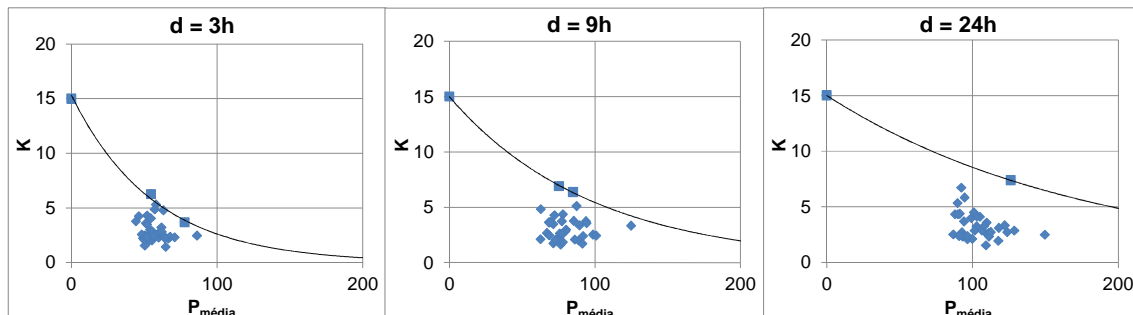
Separadamente para estes três grupos, Automáticas1, Automáticas2 e Convencionais, foram gerados gráficos para cada uma das durações onde foram plotados os pontos com os valores obtidos de  $K$  e seus respectivos valores médios de chuvas máximas anuais para toda a série histórica. A partir destes gráficos, foram identificados pontos com valores de  $K$  mais altos que pudessem definir uma envoltória superior para cada duração de chuva.

Com base em uma análise visual do conjunto de gráficos de todas as durações, procurou-se definir visualmente o valor máximo de  $K$  comum a todas as envoltórias quando estas cruzam o eixo das ordenadas. Este valor foi estimado em 15.

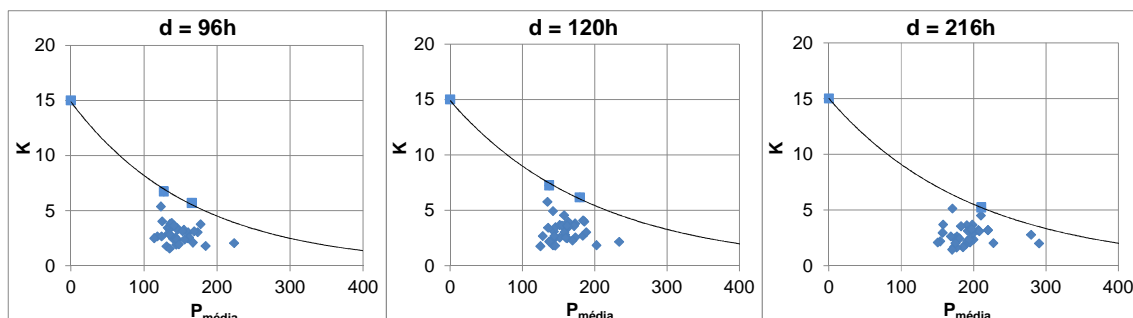


Definidos estes pontos, foram traçadas as curvas envoltórias, utilizando-se como recurso de desenho a ferramenta de ajuste de linha de tendência do *software* Excel.

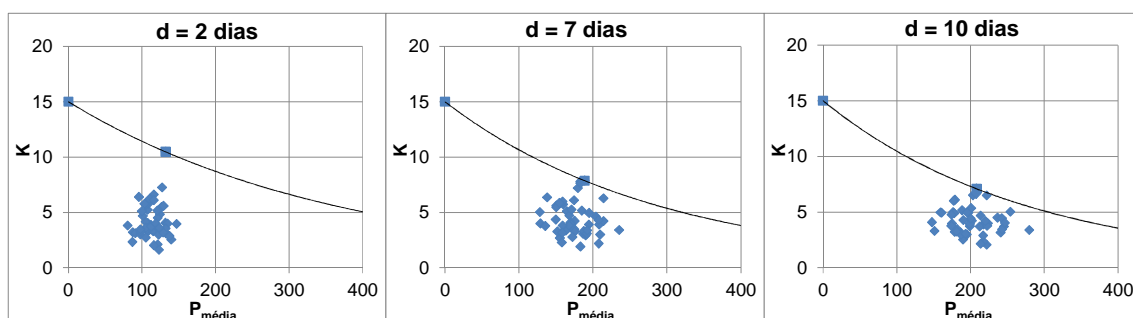
Da Figura 6.1 à Figura 6.3 estão apresentados exemplos dos ajustes gráficos realizados a partir dos dados observados das estações analisadas.



**Figura 6.1 – Ajuste de envoltórias - Automáticas1**

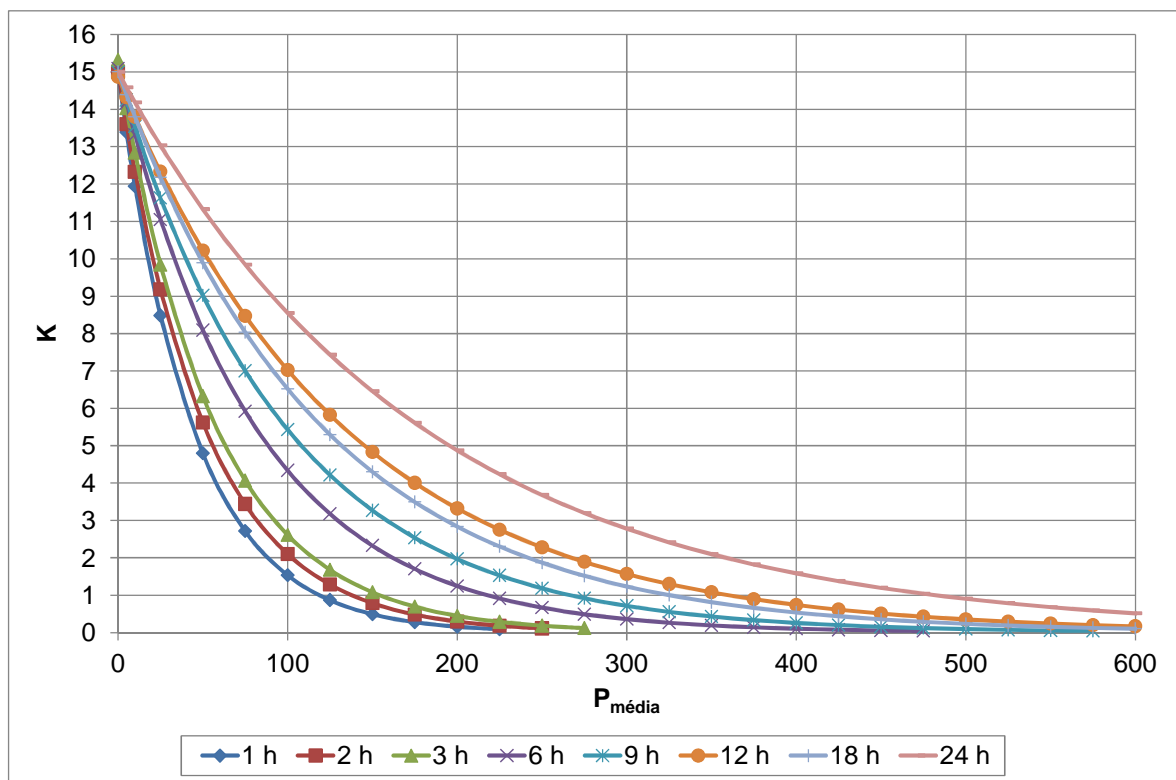


**Figura 6.2 – Ajuste de envoltórias – Automáticas2**

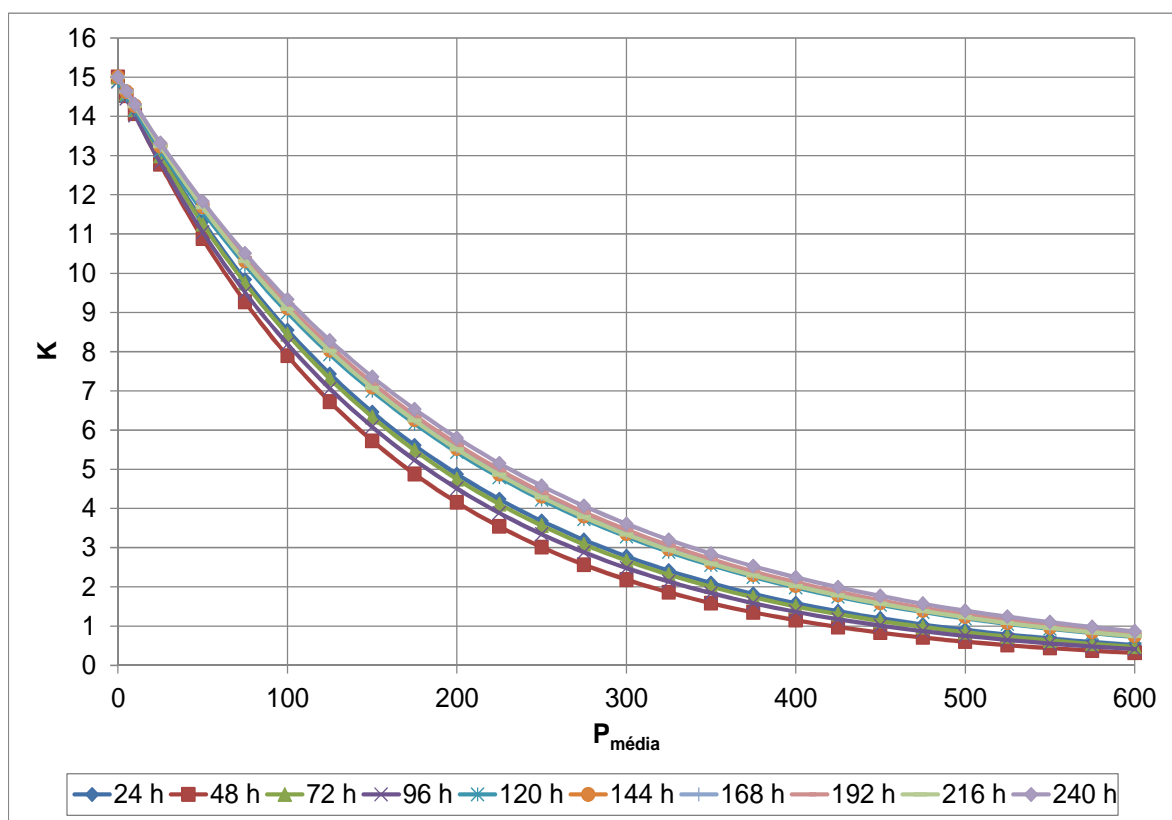


**Figura 6.3 – Ajuste de envoltórias - Convencionais**

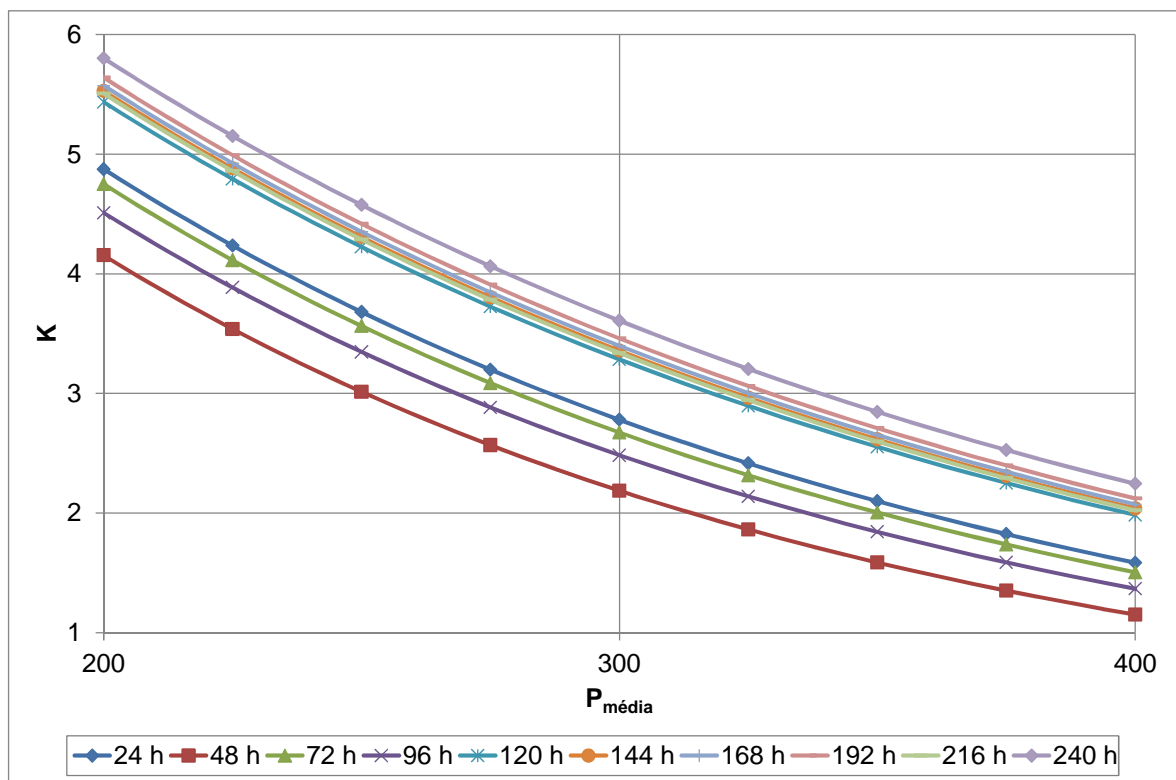
A seguir, da Figura 6.4 à Figura 6.8, estão apresentadas as envoltórias definidas graficamente para os três grupos Automáticas1, Automáticas2 e Convencionais.



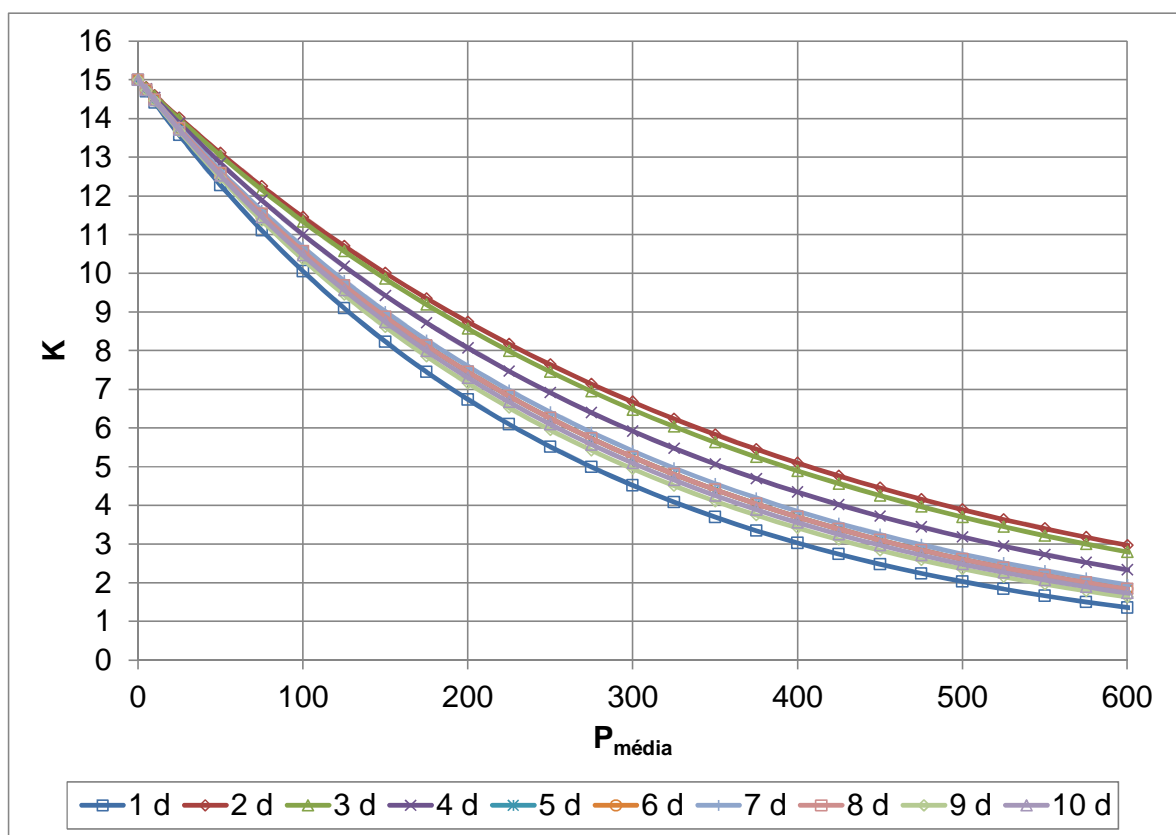
**Figura 6.4 – Envoltórias Automáticas1 (representação gráfica)**



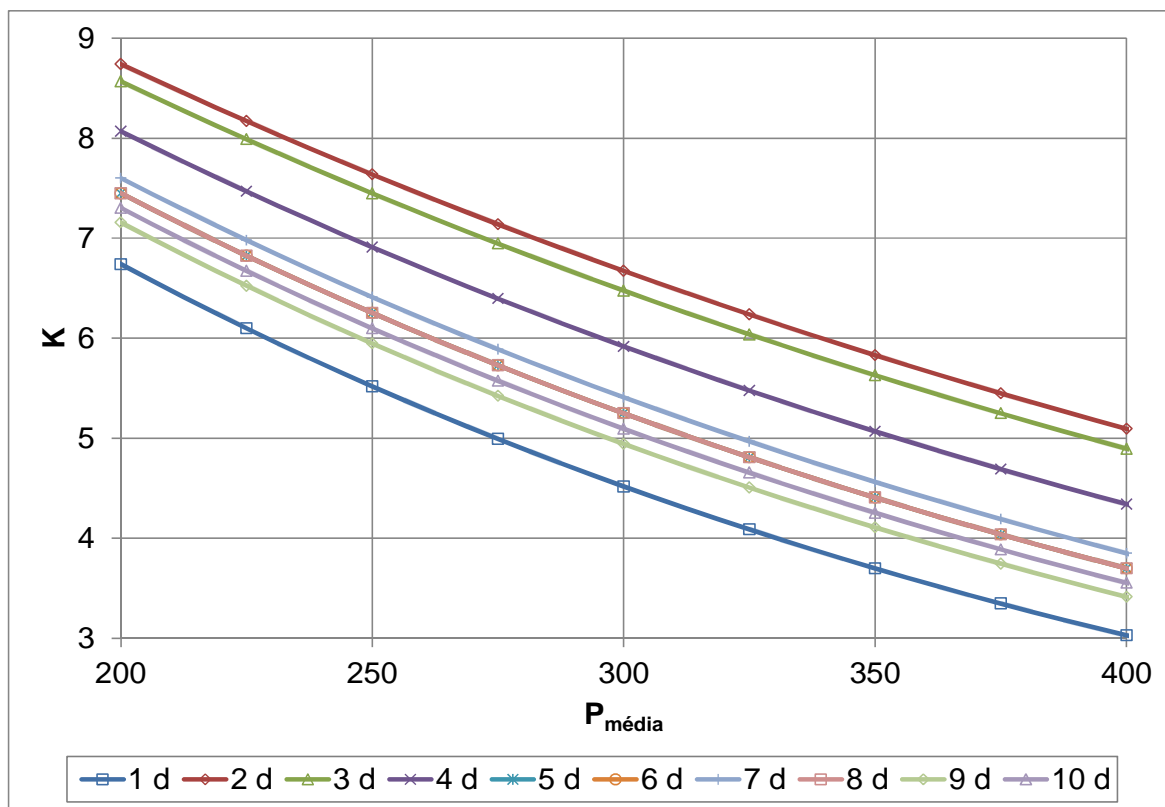
**Figura 6.5 – Envoltórias Automáticas2 (representação gráfica)**



**Figura 6.6 – Envoltórias Automáticas2 –  $200 \leq P_{\text{média}} \leq 400$**



**Figura 6.7 – Envoltórias Convencionais (representação gráfica)**



**Figura 6.8 – Envoltórias Convencionais –  $200 \leq P_{m\acute{e}dia} \leq 400$**

Como pode ser observado pela análise das figuras apresentadas, no grupo Automáticas1 é possível visualizar um deslocamento crescente das envoltórias conforme se aumenta a duração da chuva, com exceção das curvas para as durações de 12 e 18 horas que possuem suas ordens invertidas. As envoltórias do grupo Automáticas2 apresentam-se dispostas de forma aleatória, apesar de apresentar uma maior tendência de crescimento de  $K$  com o aumento da duração da chuva. Entretanto, no caso das estações convencionais, cujas durações de chuva variam de 1 a 10 dias, observa-se que o deslocamento das envoltórias é aleatório, porém com maior tendência decrescente conforme se aumenta a duração da chuva. Na Figura 6.8 não é possível visualizar as curvas referentes às durações de 5 e 6 dias pois as mesmas são coincidentes com a curva para duração de 8 dias.

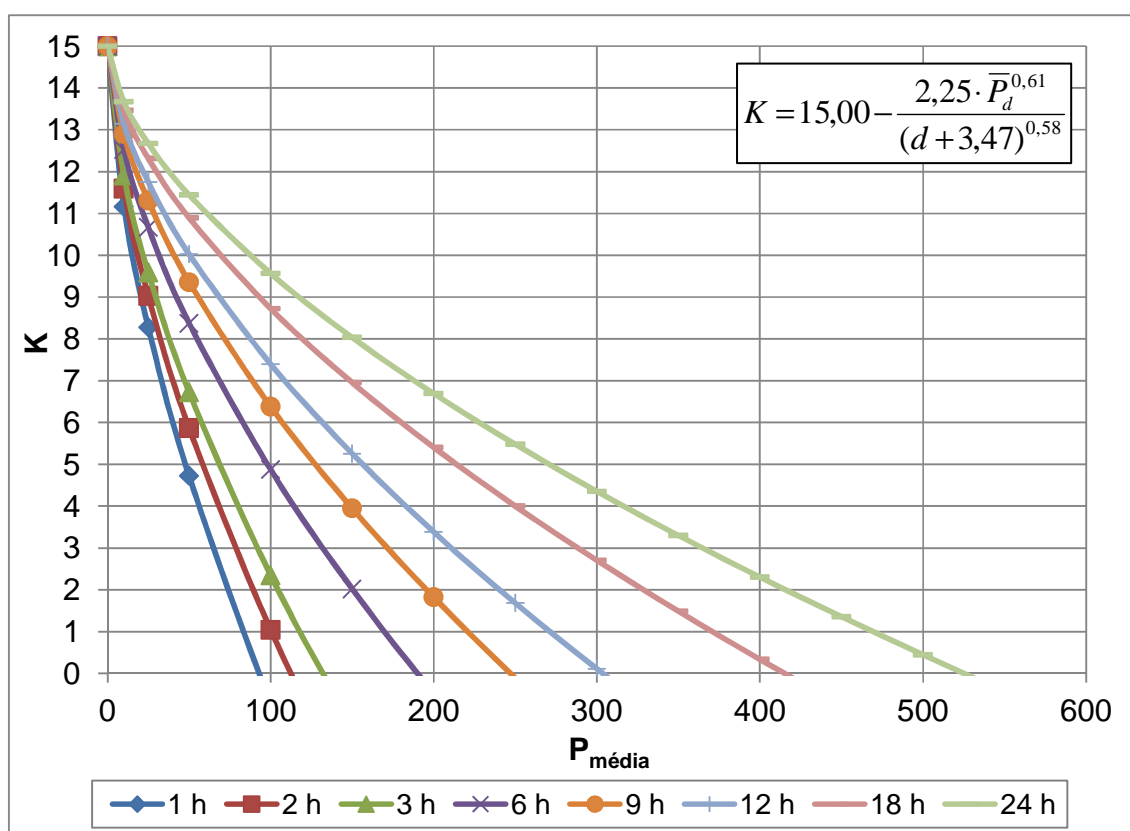
Na tentativa de melhorar o ajuste destas envoltórias, e com o objetivo de se estimar uma equação representativa de todas as envoltórias de diferentes durações para um mesmo grupo, foi realizado o ajuste de um modelo não linear aos pontos obtidos das séries históricas seguindo

procedimento similar ao adotado para a elaboração do modelo representativo das envoltórias do gráfico de Hershfield, porém agora utilizando o método dos mínimos quadrados com restrição, para que os valores obtidos do ajuste fossem iguais ou maiores aos valores observados, configurando assim a determinação de uma envoltória superior.

Este ajuste foi feito de duas formas, adotando-se o máximo valor de  $K$  de 15, definido visualmente no ajuste gráfico, e deixando esta variável livre para que o modelo computacional encontrasse o  $K$  máximo.

Os valores máximos de  $K$  encontrados pelo programa, para os três grupos Automáticas1, Automáticas2 e Convencionais, foram respectivamente 8,32, 7,44 e 13,62.

Da Figura 6.9 à Figura 6.19 estão apresentadas as envoltórias resultantes destes ajustes bem como as equações obtidas representativas de cada grupo de envoltórias.



**Figura 6.9 – Envoltórias Automáticas1 – K=15 (modelo)**

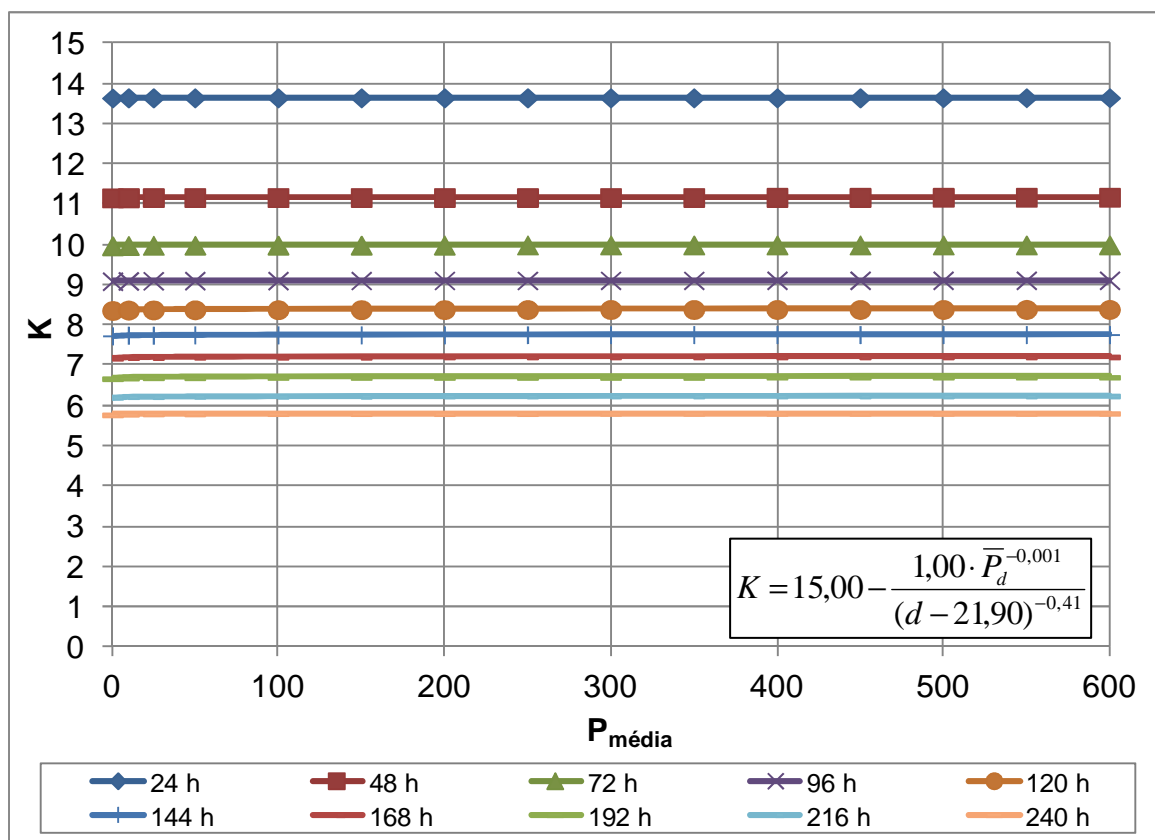


Figura 6.10 – Envoltórias Automáticas2 - K=15 (modelo)

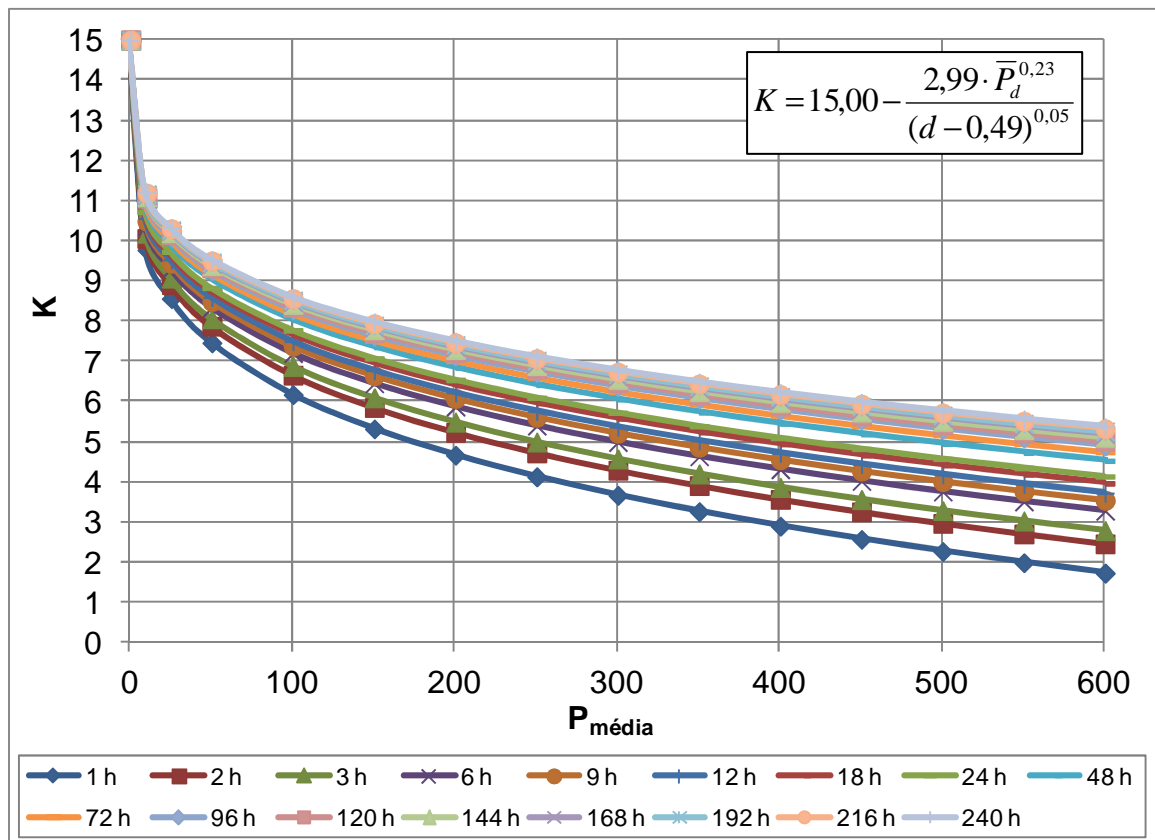


Figura 6.11 – Envoltórias Automáticas1 e Automáticas2 - K=15 (modelo)

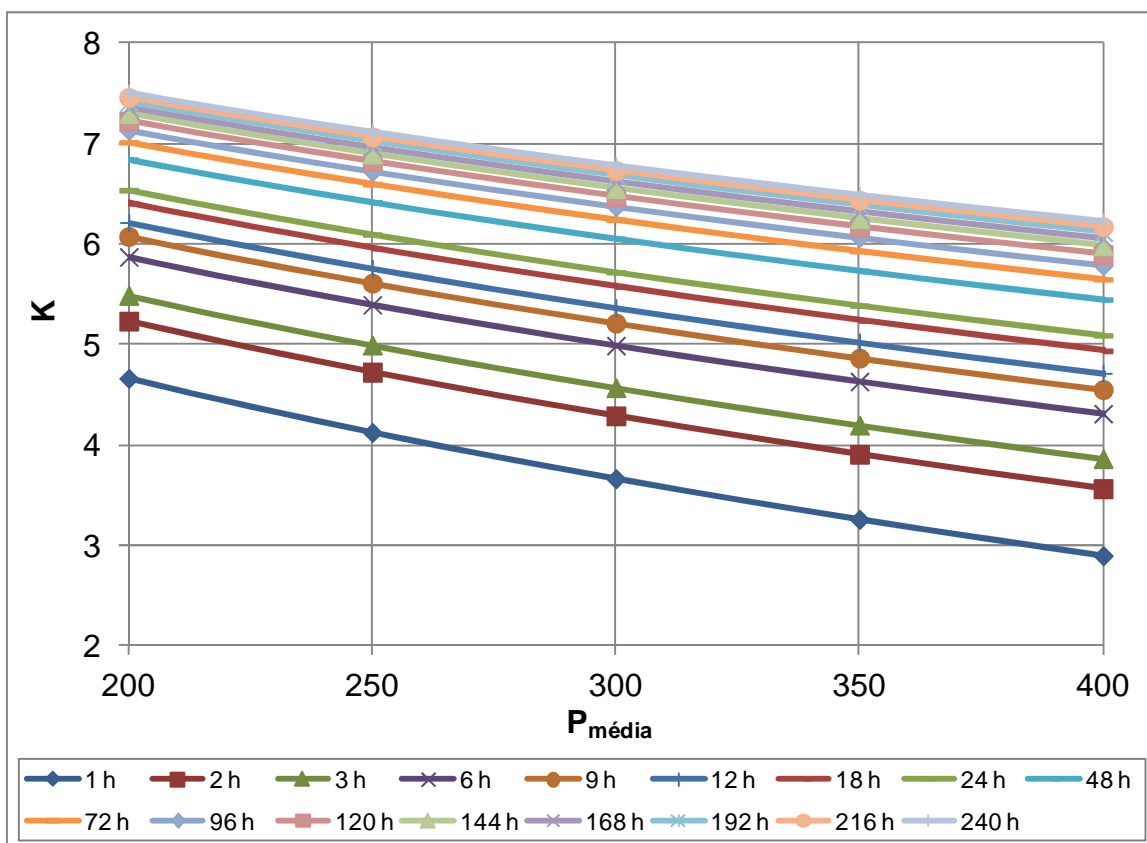


Figura 6.12 – Envoltórias Automáticas1 e Automáticas2 - K=15 – 200 ≤ P<sub>média</sub> ≤ 400

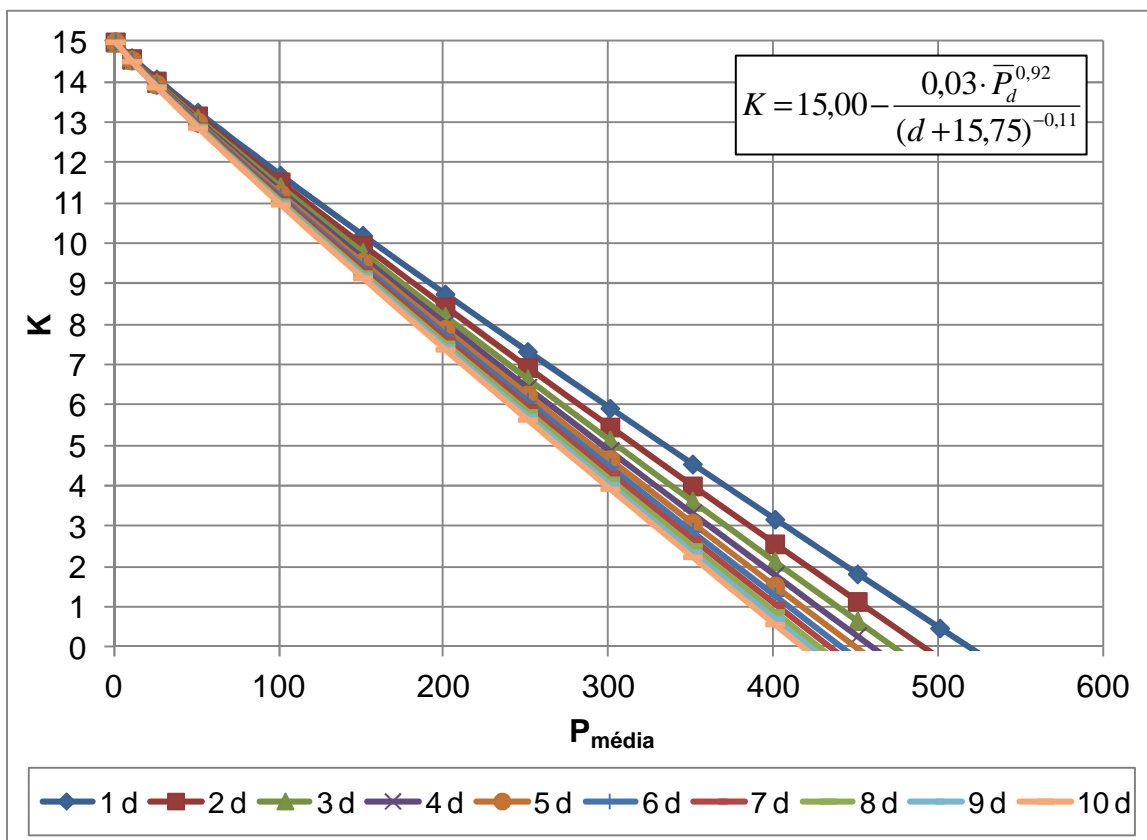


Figura 6.13 – Envoltórias Convencionais – K=15 (modelo)

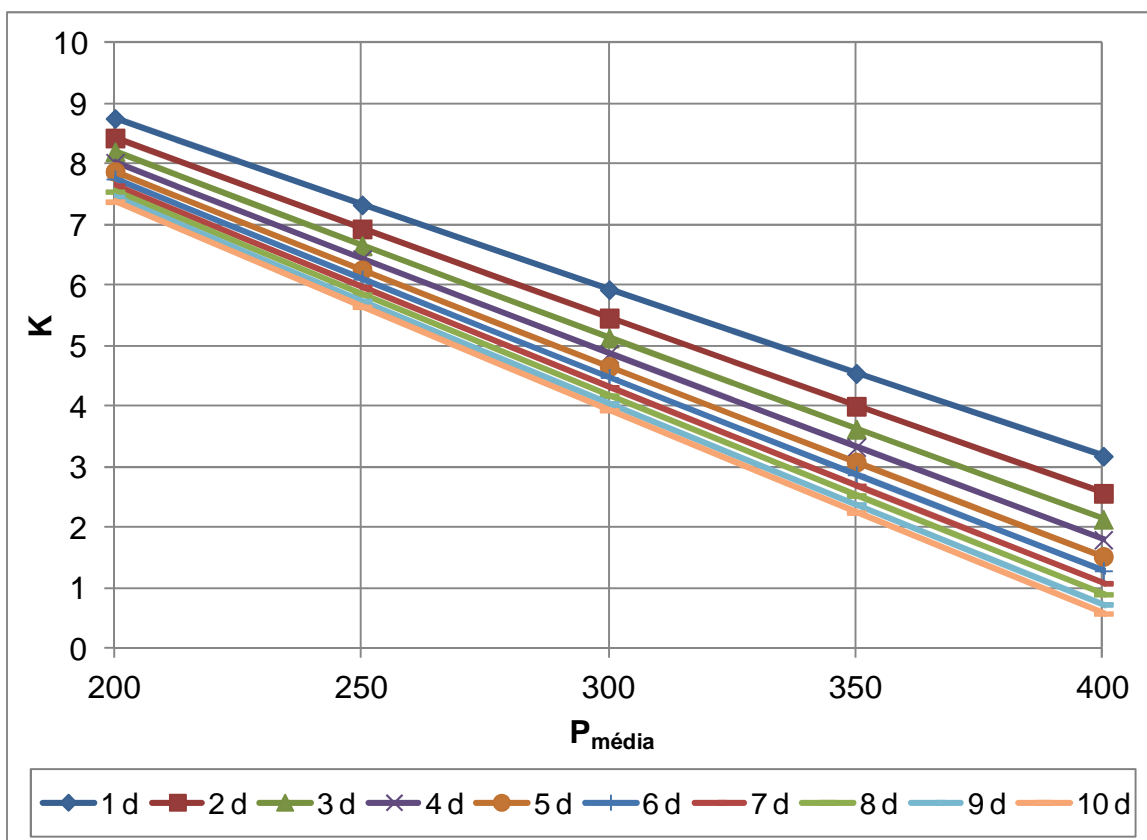


Figura 6.14 – Envoltórias Convencionais –  $K=15$  –  $200 \leq P_{\text{média}} \leq 400$

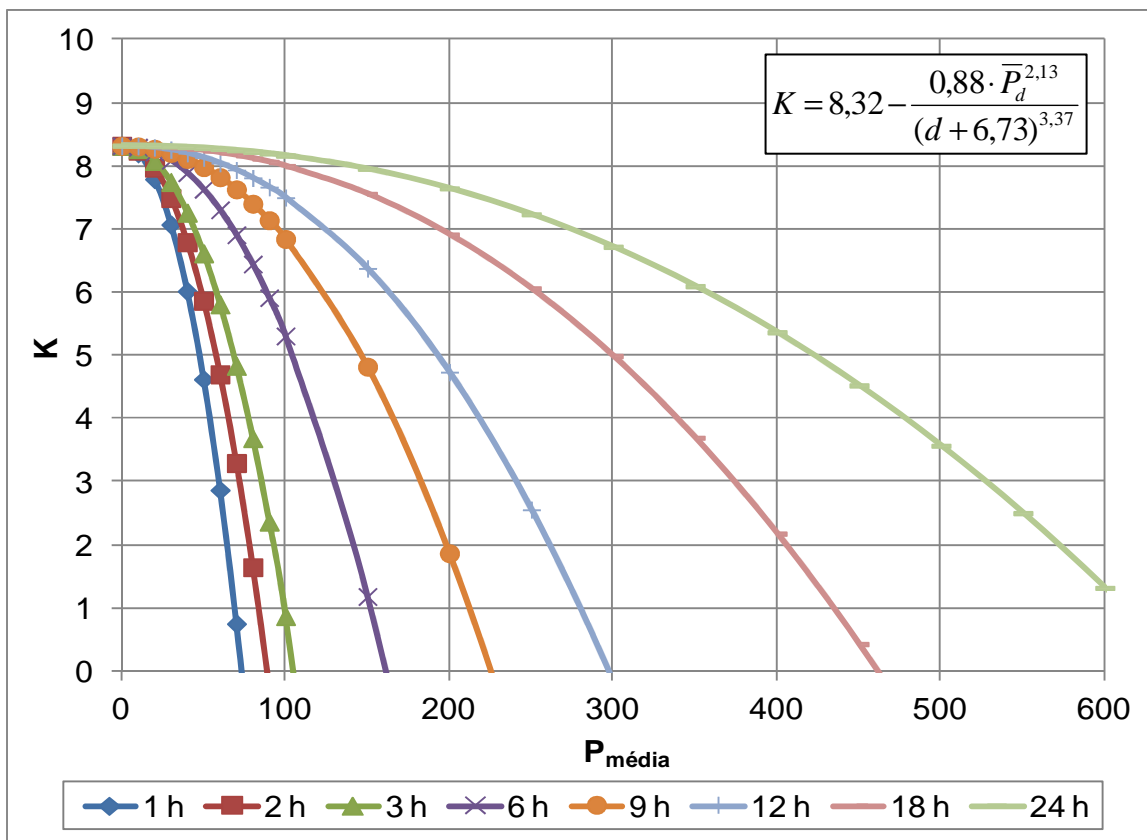


Figura 6.15 – Envoltórias Automáticas1 –  $K=8,32$  (modelo)



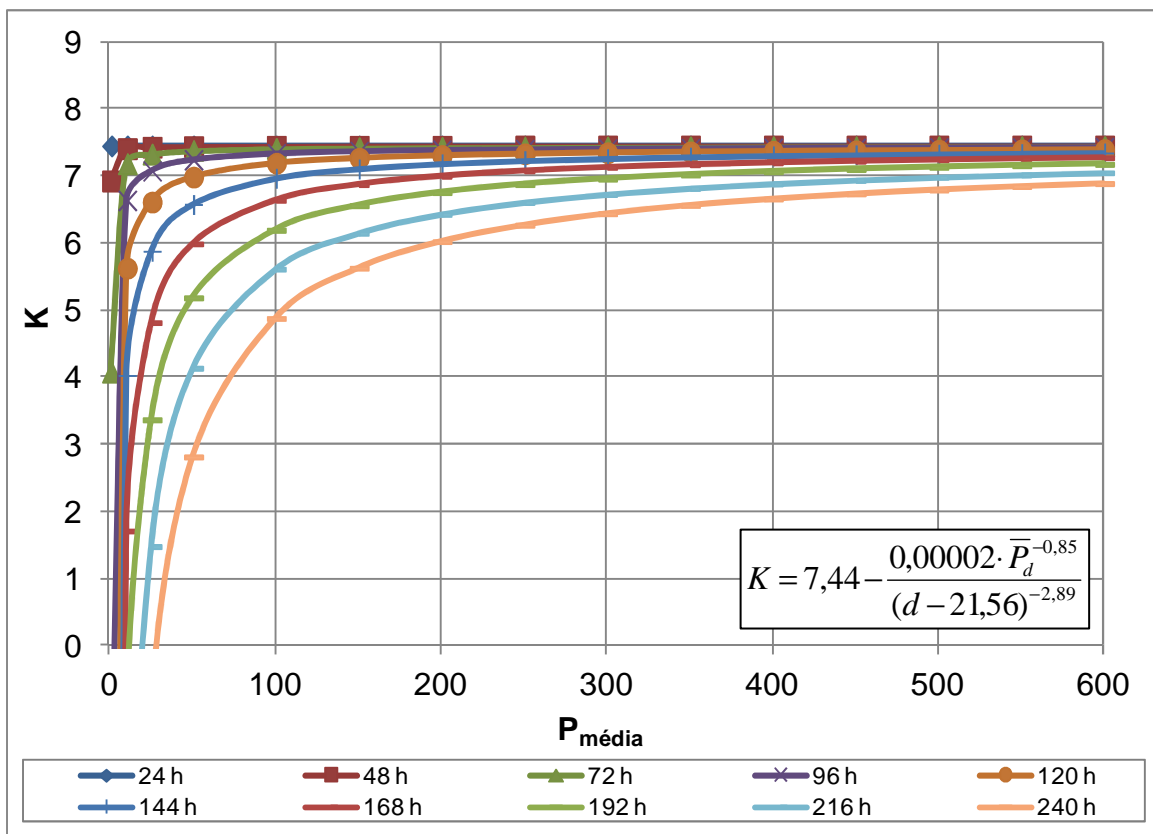


Figura 6.16 – Envoltórias Automáticas2 –  $K=7,44$  (modelo)

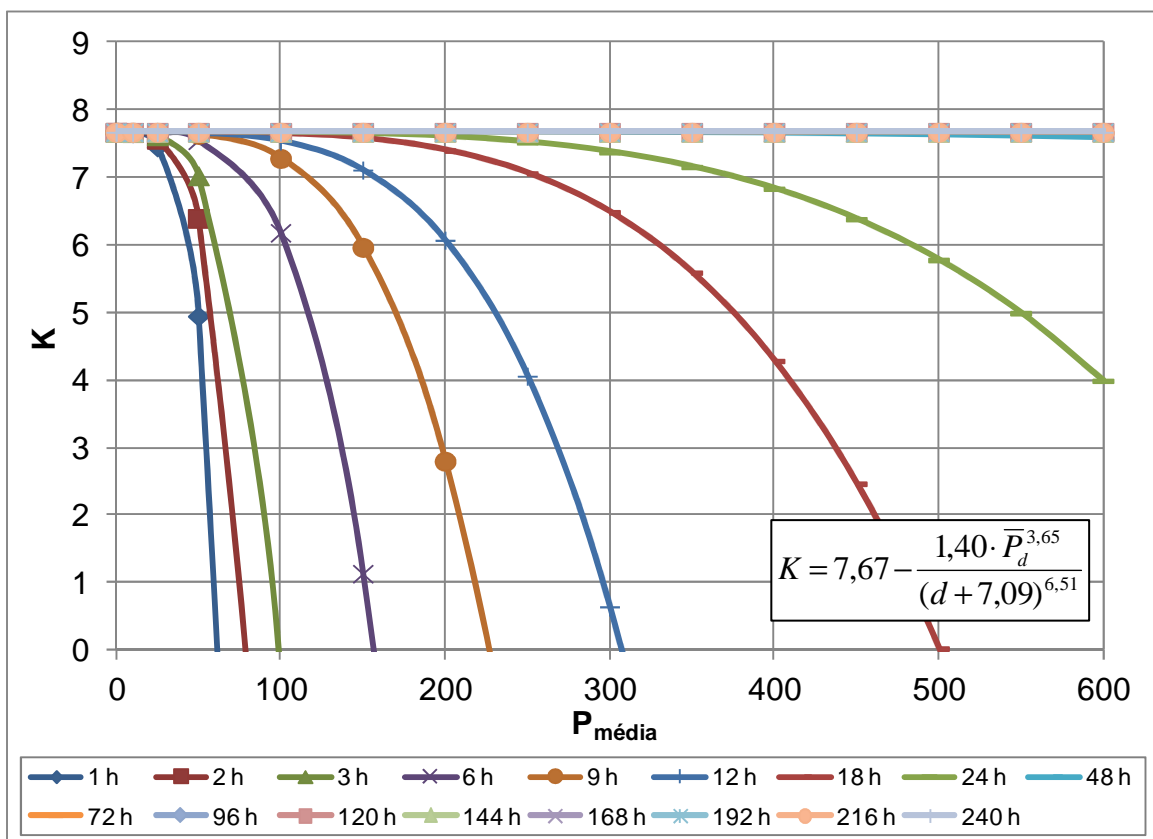


Figura 6.17 – Envoltórias Automáticas1 e Automáticas2 -  $K=7,67$  (modelo)

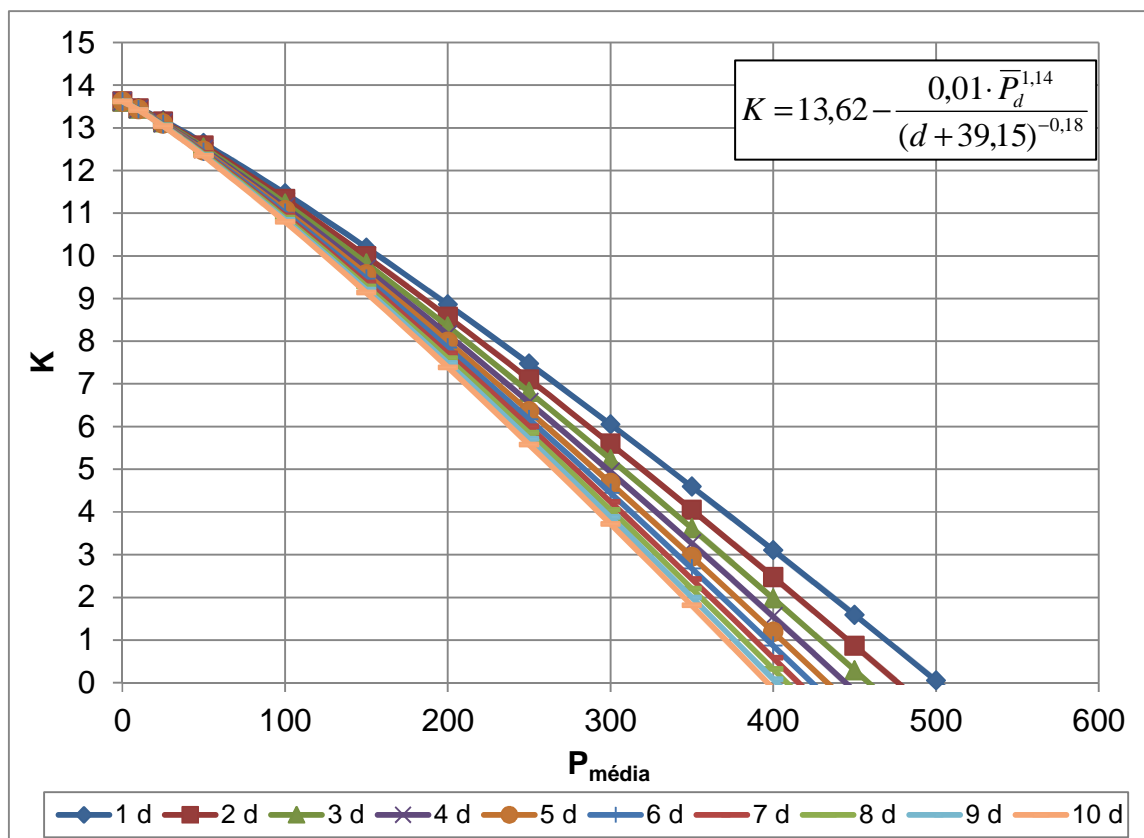


Figura 6.18 – Envoltórias Convencionais –  $K=13,62$  (modelo)

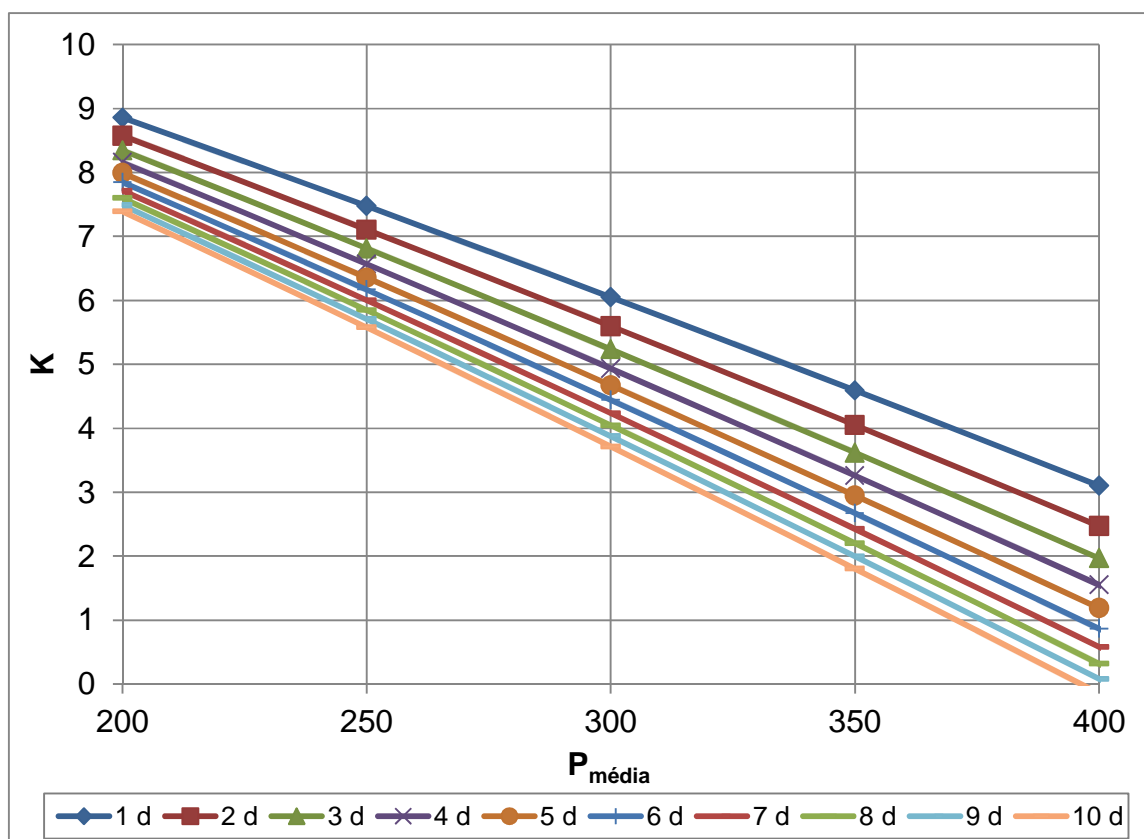


Figura 6.19 – Envoltórias Convencionais –  $K=13,62$  –  $200 \leq P_{\text{média}} \leq 400$

Em ambos os casos, com o  $K$  máximo igual a 15 e 8,32, as envoltórias do grupo Automáticas1 apresentam-se dispostas de forma crescente conforme se aumenta a duração da chuva.

O modelo de ajuste não obteve bons resultados quando aplicado aos pontos do grupo Automáticas2, tanto para o  $K$  máximo igual a 15 quanto para o  $K$  máximo igual a 7,44, como pode ser visto na Figura 6.10 e na Figura 6.16.

Por isso, procurou-se obter envoltórias para as durações de 24 a 240 horas através do ajuste conjunto dos pontos dos grupos Automáticas1 e Automáticas2. Com o  $K$  máximo de 15, foram obtidos bons ajustes para as envoltórias de ambos os grupos (Figura 6.11). As curvas apresentam um deslocamento crescente conforme se aumenta a duração da chuva. O ajuste feito com o  $K$  máximo livre não foi satisfatório, e as envoltórias para as durações do grupo Automáticas2 resultaram em praticamente uma reta representativa de todas as durações (Figura 6.17).

As envoltórias definidas para as durações de chuva de 1 a 10 dias das estações convencionais, nos dois casos, com o  $K$  máximo de 15 e 13,62, foram satisfatoriamente ajustadas. As curvas apresentam-se dispostas de forma crescente conforme se diminui a duração da chuva, diferente do que ocorre com as durações de 1h a 24h das estações automáticas. Isto implica em menores valores de  $K$  para durações de chuva maiores.

Em seu estudo de 2013, BURGER e KAVISKI observaram que os valores de  $K$  estimados pelo modelo de simulação não resultaram crescentes com o aumento da duração da chuva. Naquele estudo, foram analisadas durações de chuva de 1 a 10 dias para apenas 4 estações pluviométricas. No presente trabalho verificou-se que para as mesmas durações de chuva, a variação do  $K$  com o aumento da duração da chuva é na verdade decrescente.

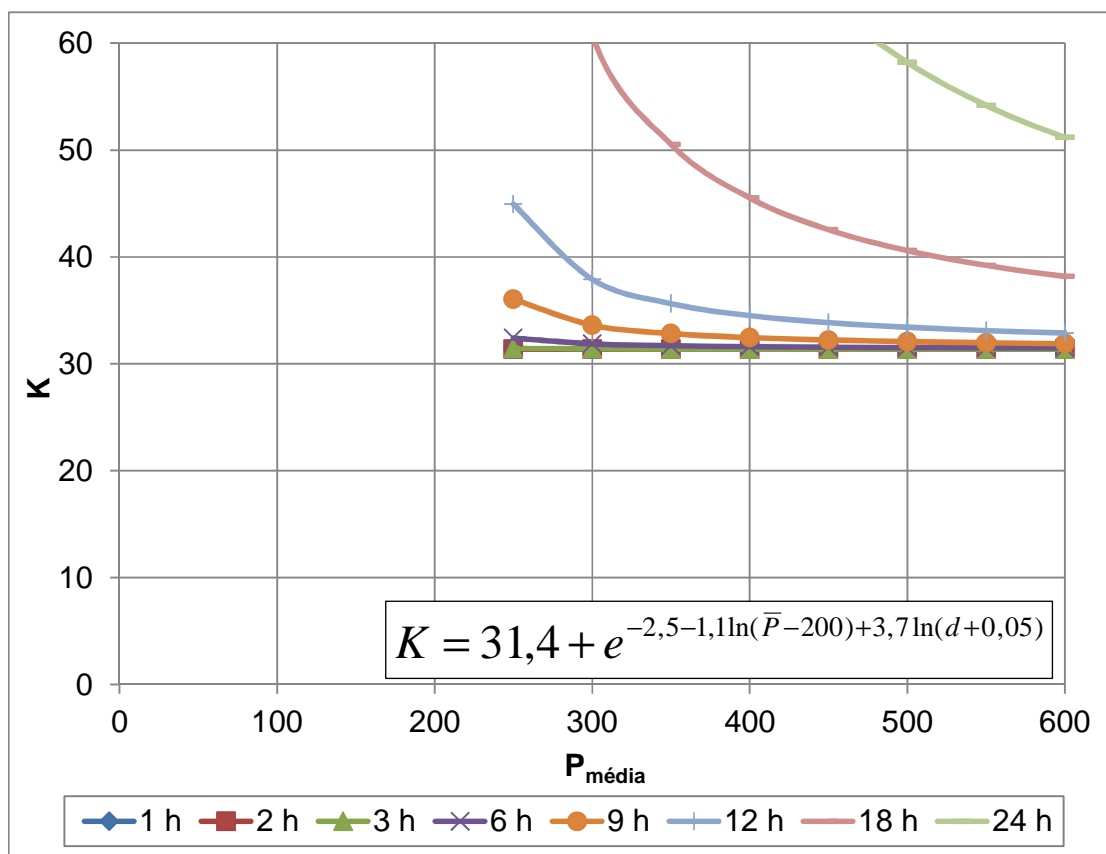
O mesmo procedimento de ajuste através de um modelo não linear foi adotado para a definição de envoltórias a partir dos resultados de  $K$  obtidos pelo modelo de simulação para a faixa de confiança de 99,9%. Os ajustes com os resultados desta faixa de confiança não ficaram bons, então foi realizada outra tentativa de ajuste com os valores de  $K$  para a faixa de confiança de 99%.

Neste caso o ajuste foi feito apenas com o valor de  $K$  máximo encontrado pelo programa. Para os três grupos Automáticas1, Automáticas2 e Convencionais estes valores são respectivamente de 31,4, 20 e 9,4.

Utilizando-se os resultados para a faixa de confiança de 99%, tampouco foi possível ajustar o modelo de forma satisfatória. A Figura 6.20, a Figura 6.21 e a Figura 6.22 apresentam os resultados destes ajustes e as equações obtidas.

Com base em todas as relações empíricas obtidas e as análises realizadas, opta-se pela adoção das envoltórias ajustadas através do modelo não linear com base nos dados históricos, definidas para os grupos de estações Automáticas1 e Convencionais, respectivamente para as durações de chuva de 1h a 24h, e de 1 a 10 dias, com o  $K$  máximo de 15.

A Figura 6.23 e a Figura 6.24 apresentam as envoltórias recomendadas para a estimativa do fator de frequência em função da duração da chuva e da média das precipitações máximas anuais para o estado do Paraná.



**Figura 6.20 – Envoltórias Automáticas1 – FC 99% (modelo)**

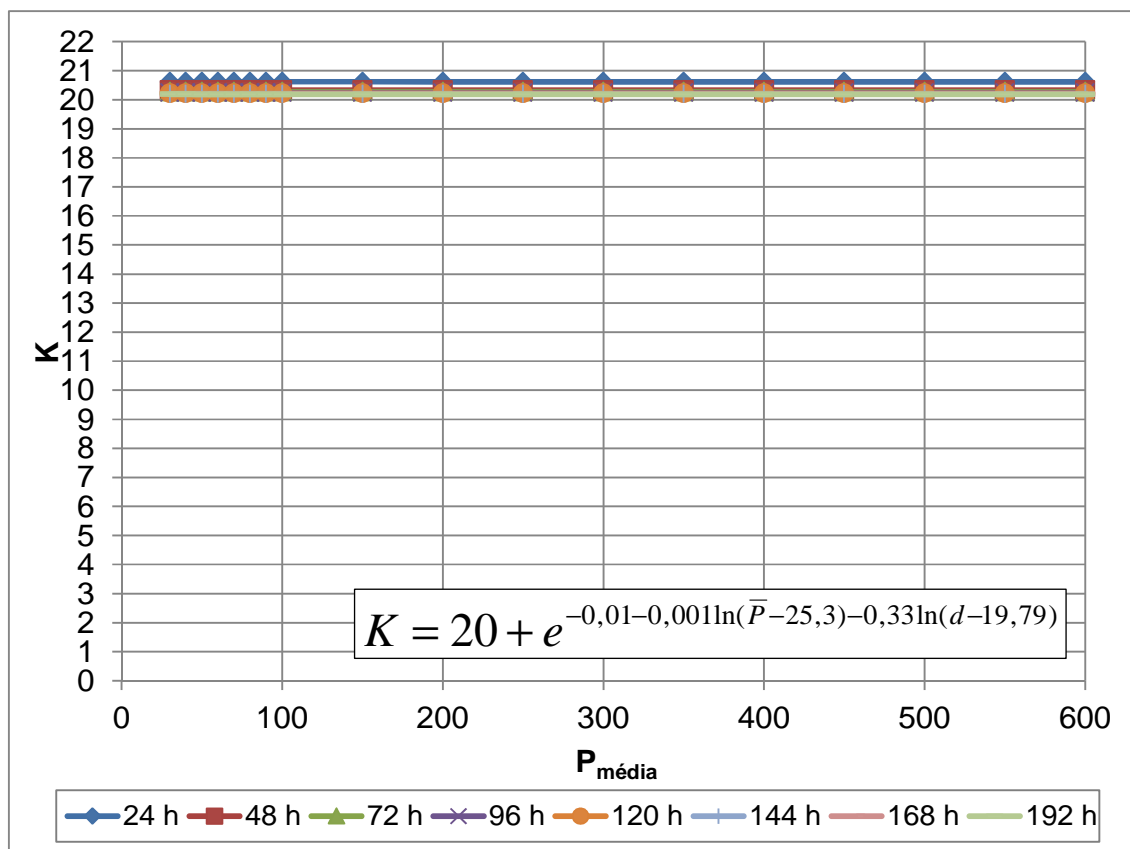


Figura 6.21 – Envolvórias Automáticas2 – FC 99% (modelo)

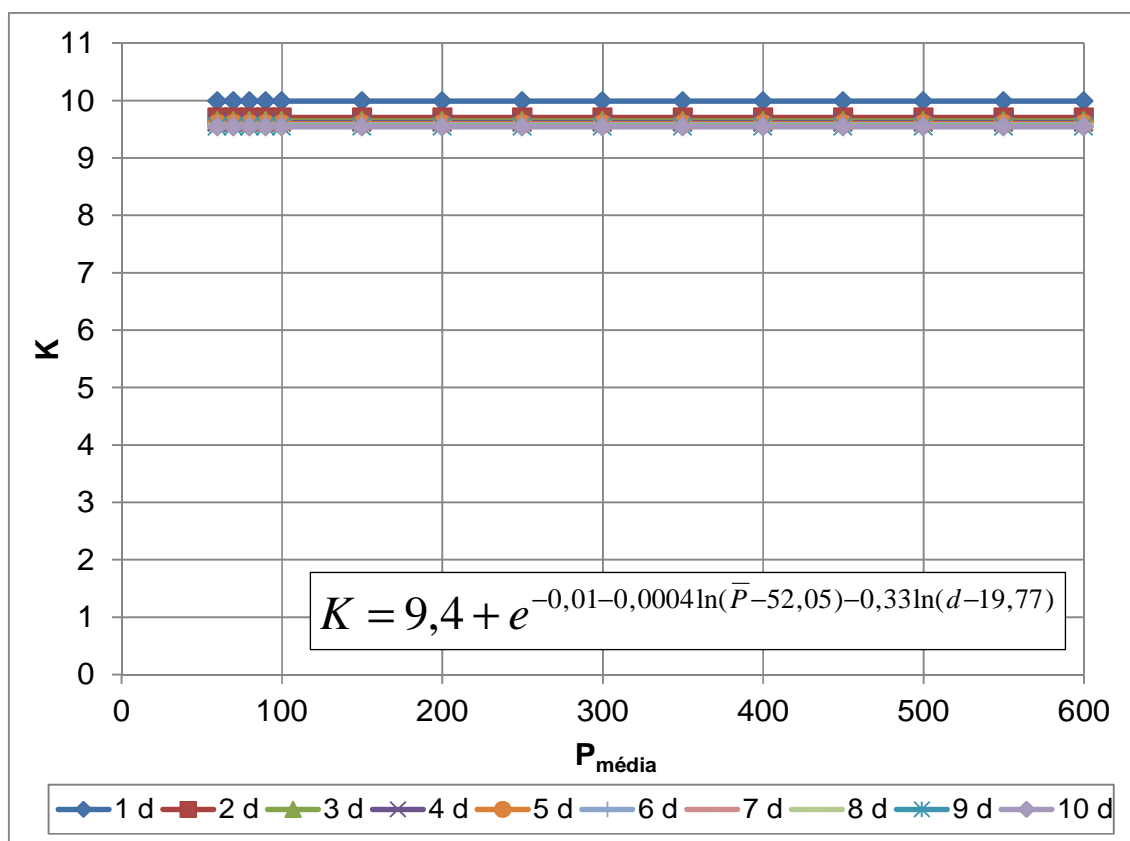


Figura 6.22 – Envolvórias Convencionais – FC 99% (modelo)

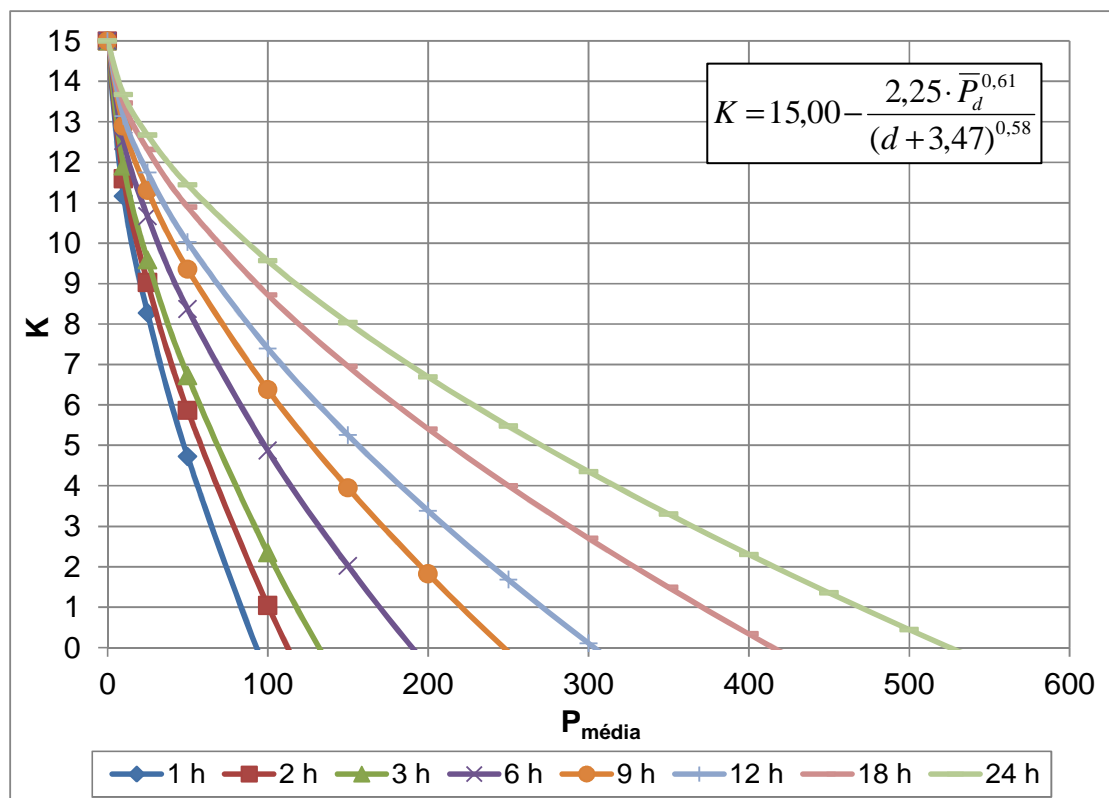


Figura 6.23 –  $K$  em função da duração da chuva e da média das precipitações máximas anuais com durações de 1h a 24h – Estado do Paraná

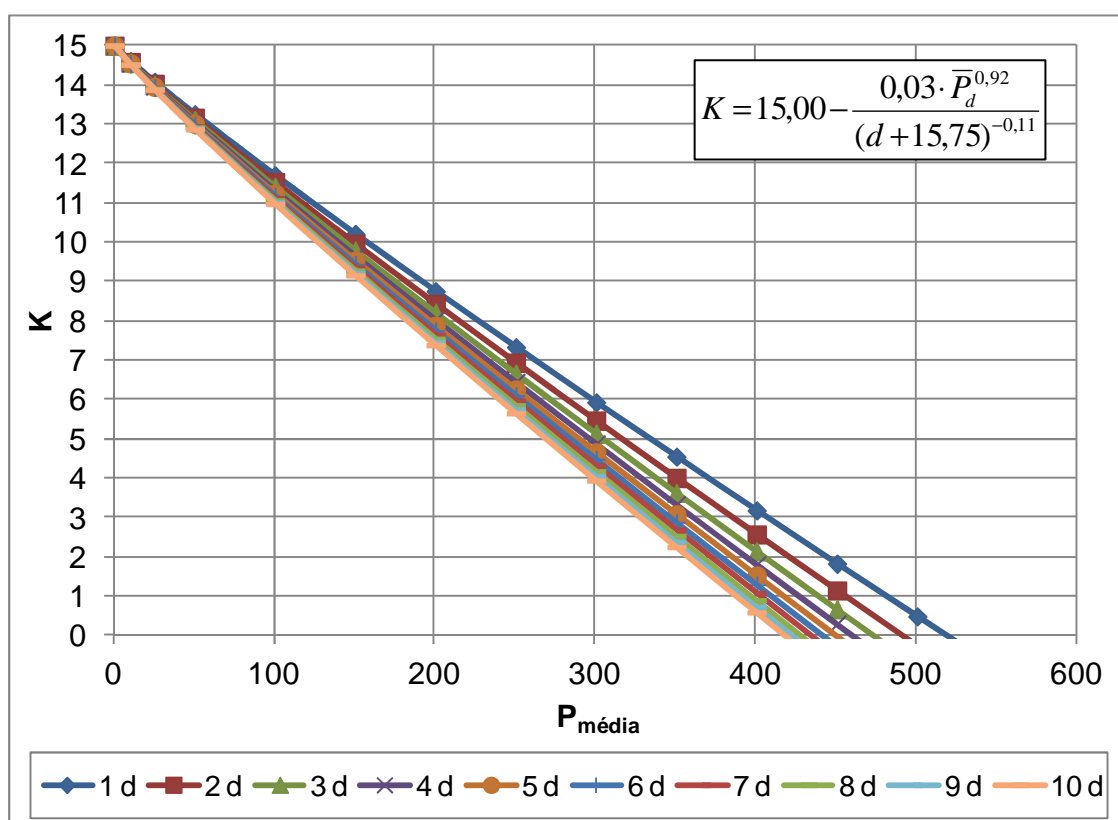


Figura 6.24 –  $K$  em função da duração da chuva e da média das precipitações máximas anuais com durações de 1 a 10 dias – Estado do Paraná

### 6.1.1 Verificação do valor máximo de $K$ do método de Hershfield

Aproveitando o modelo de ajuste não linear pelo método dos mínimos quadrados, foi realizada uma análise do máximo valor de  $K$  apresentado no gráfico proposto por Hershfield que é 20.

Um novo ajuste foi feito aos pontos apresentados na Tabela 4.1, porém excluindo-se os pontos cujos valores de  $K$  fossem maiores ou iguais a 16. O variável  $K$  máximo ficou livre para o ajuste.

O valor de  $K$  máximo resultante do ajuste foi de 22,66, bastante próximo ao valor determinado por Hershfield.

Na Figura 6.25 estão apresentadas as envoltórias de Hershfield com o novo  $K$  de convergência, bem como a equação obtida.

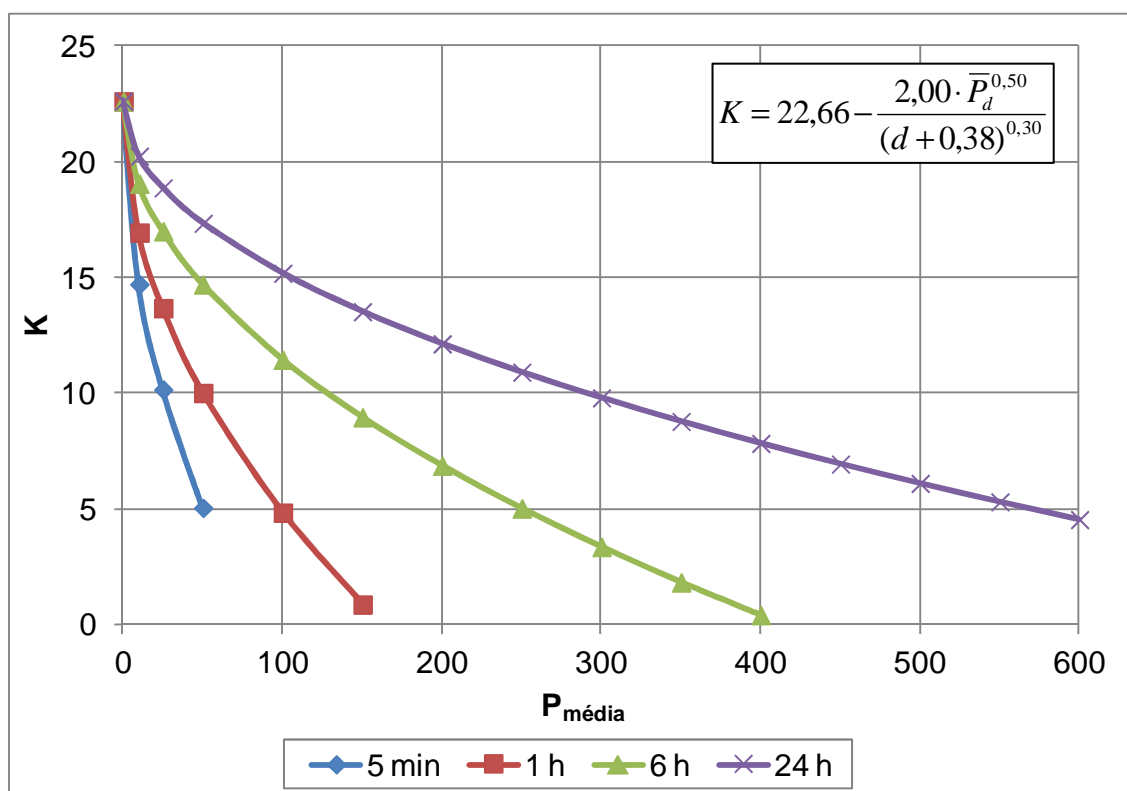


Figura 6.25 – Gráfico de Hershfield – Ajuste do  $K$  máximo

## 6.2 Verificação do modelo proposto para extrapolação

Com as relações empíricas definidas neste trabalho, similares à definida por Hershfield, a partir de dados horários de chuva com durações de até 10 dias, é possível verificar o modelo proposto no Capítulo 4 para a extrapolação das curvas definidas por Hershfield.

A equação de ajuste definida para o grupo 1 das estações automáticas, com durações de até 24h foi aplicada a chuvas com durações de 1 a 10 dias, e as envoltórias resultantes foram comparadas às obtidas do ajuste definido para o grupo das estações convencionais, que apresenta estas mesmas durações. A comparação foi feita entre as envoltórias adotando-se o  $K$  máximo de 15, tendo em vista que os valores máximos de  $K$  encontrados pelo programa de ajuste de modelos não lineares para os dois grupos analisados resultaram incompatíveis entre si.

A Figura 6.26 apresenta as envoltórias extrapoladas a partir da equação obtida para o grupo Automáticas1 e a Figura 6.27 mostra o ajuste obtido para o grupo das estações convencionais.

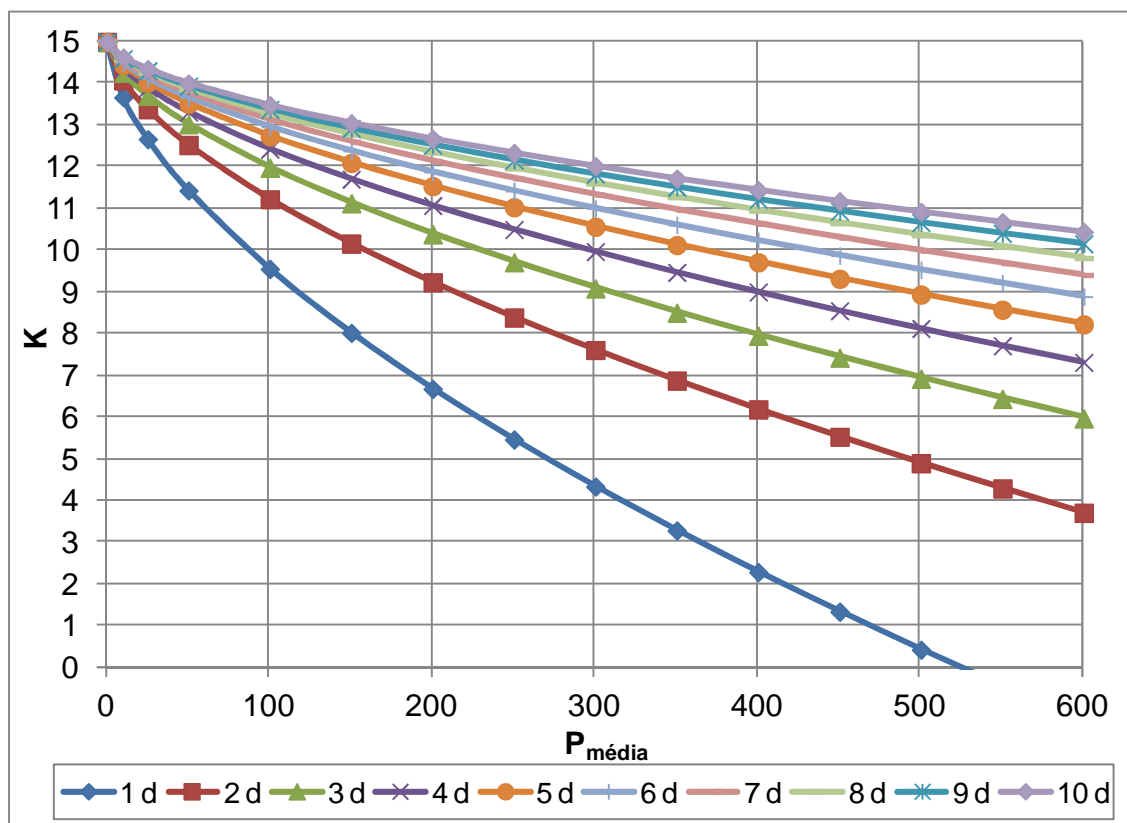
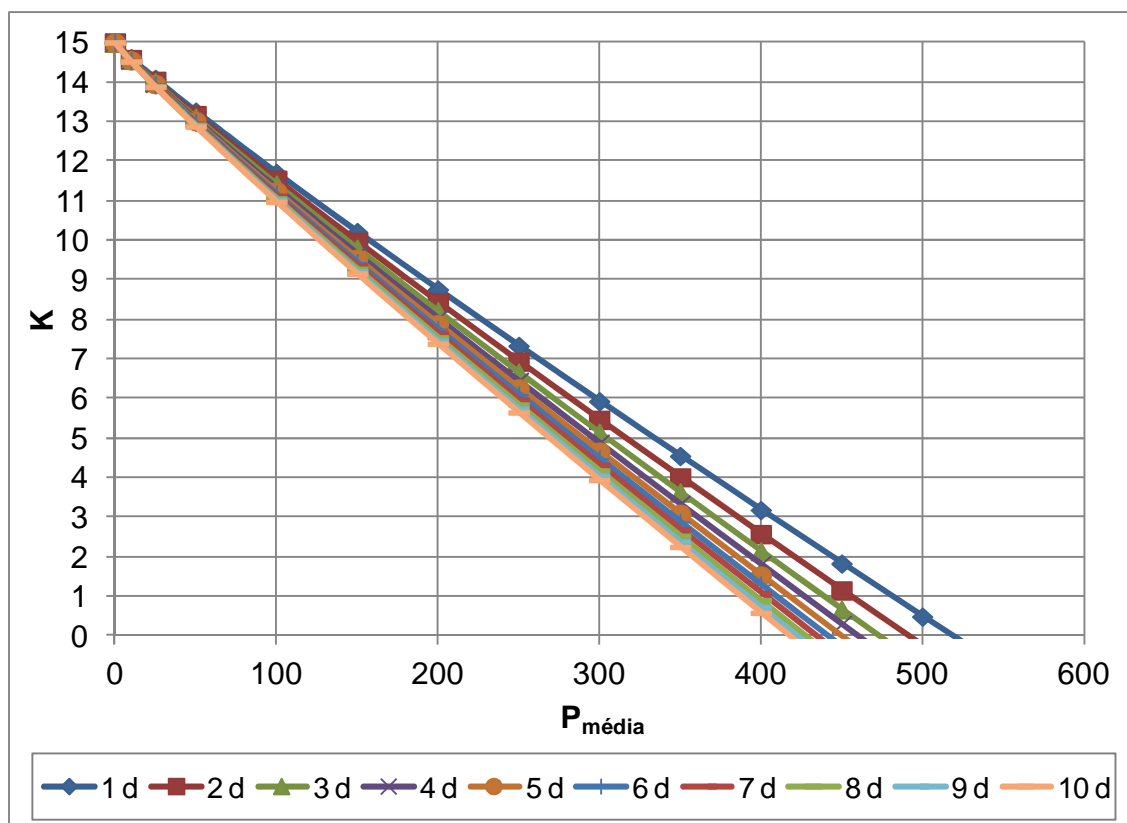


Figura 6.26 – Equação Automáticas1 para d = 1 a 10 dias





**Figura 6.27 – Envoltórias Convencionais –  $K=15$  (modelo)**

Como pode ser visto através da comparação das duas figuras, as envoltórias encontradas a partir da extrapolação do grupo Automáticas1 não ficou coerente com as envoltórias ajustadas a partir dos dados observados do grupo de estações convencionais. Isto mostra que o modelo proposto representativo das envoltórias do gráfico de Hershfield serve apenas para a interpolação das curvas, e não para a extrapolação das mesmas.

### 6.3 Distribuição espacial do fator de frequência $K$ no estado do Paraná

Dos resultados de  $K$  apresentados no Apêndice F, foram escolhidos os valores resultantes das séries históricas completas das estações convencionais e do grupo 1 das estações automáticas, para serem plotados sobre o mapa do estado do Paraná com o intuito de verificar se há alguma tendência na distribuição espacial deste parâmetro sobre a região de estudo.

Para a construção dos mapas, os valores de  $K$  de cada estação foram interpolados através do método do Inverso do Quadrado da Distância (IDW).

O IDW (*Inverse Distance Weighted*) é um método de interpolação que estima os valores das células pelo valor médio de cada célula do entorno. Quanto mais perto o ponto estiver do centro da célula a ser estimada, maior será a influência, ou peso, desta no processo. Este método não faz estimativas acima dos valores de amostra máximos ou abaixo dos mínimos.

As superfícies interpoladas resultantes não cobrem toda a área do estado do Paraná, pois as estações pluviométricas utilizadas na interpolação estão localizadas dentro da região de estudo.

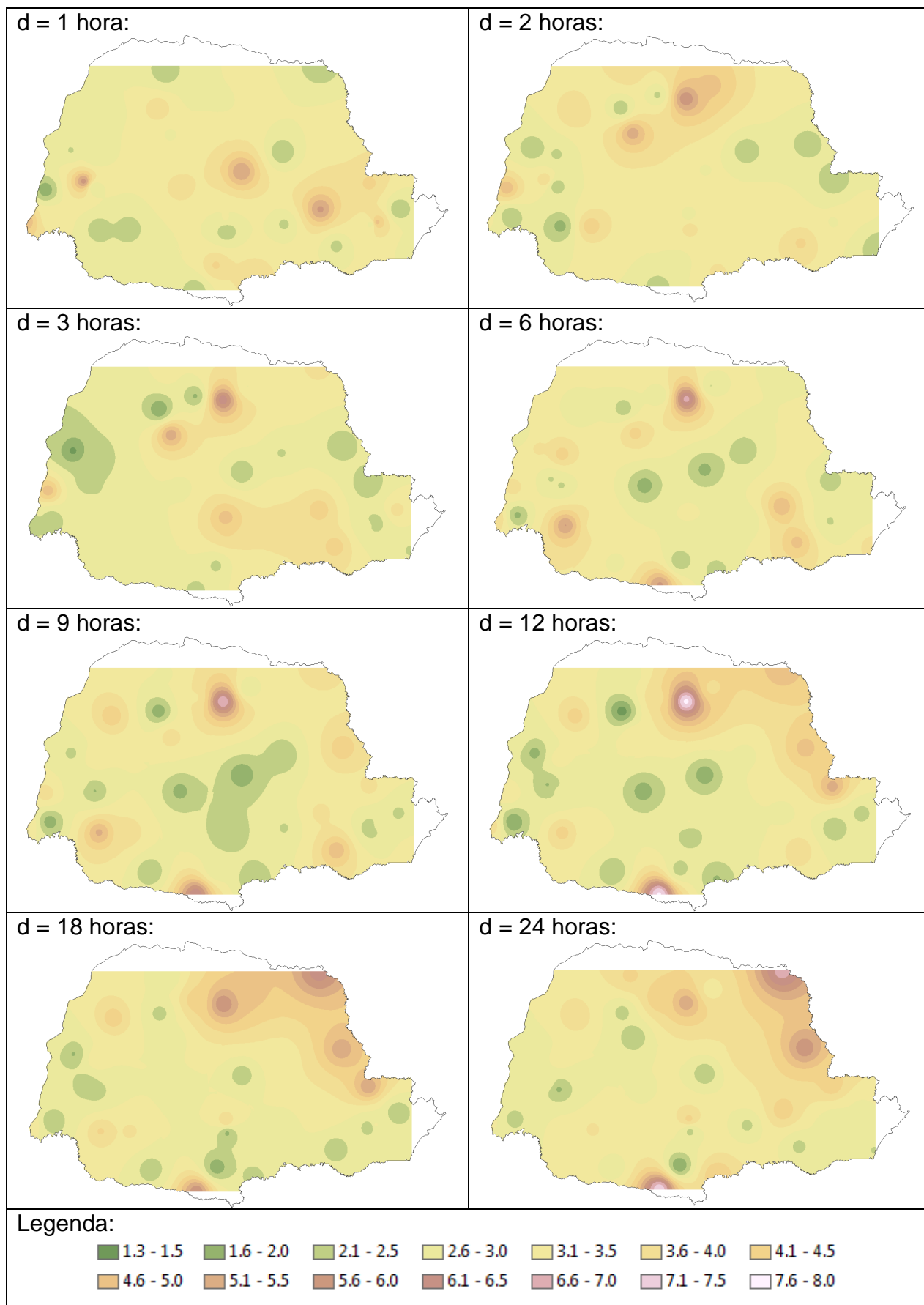
Na Figura 6.28 e na Figura 6.29 estão apresentados os mapas com a distribuição espacial do fator de frequência obtidos para as estações do Simepar e do Instituto das Águas do Paraná respectivamente.

Através da análise dos mapas apresentados nas figuras acima, observa-se que para as estações automáticas, cujas durações de chuva variam de 1 a 24 horas, não há uma tendência definida na distribuição espacial do fator de frequência sobre o estado do Paraná.

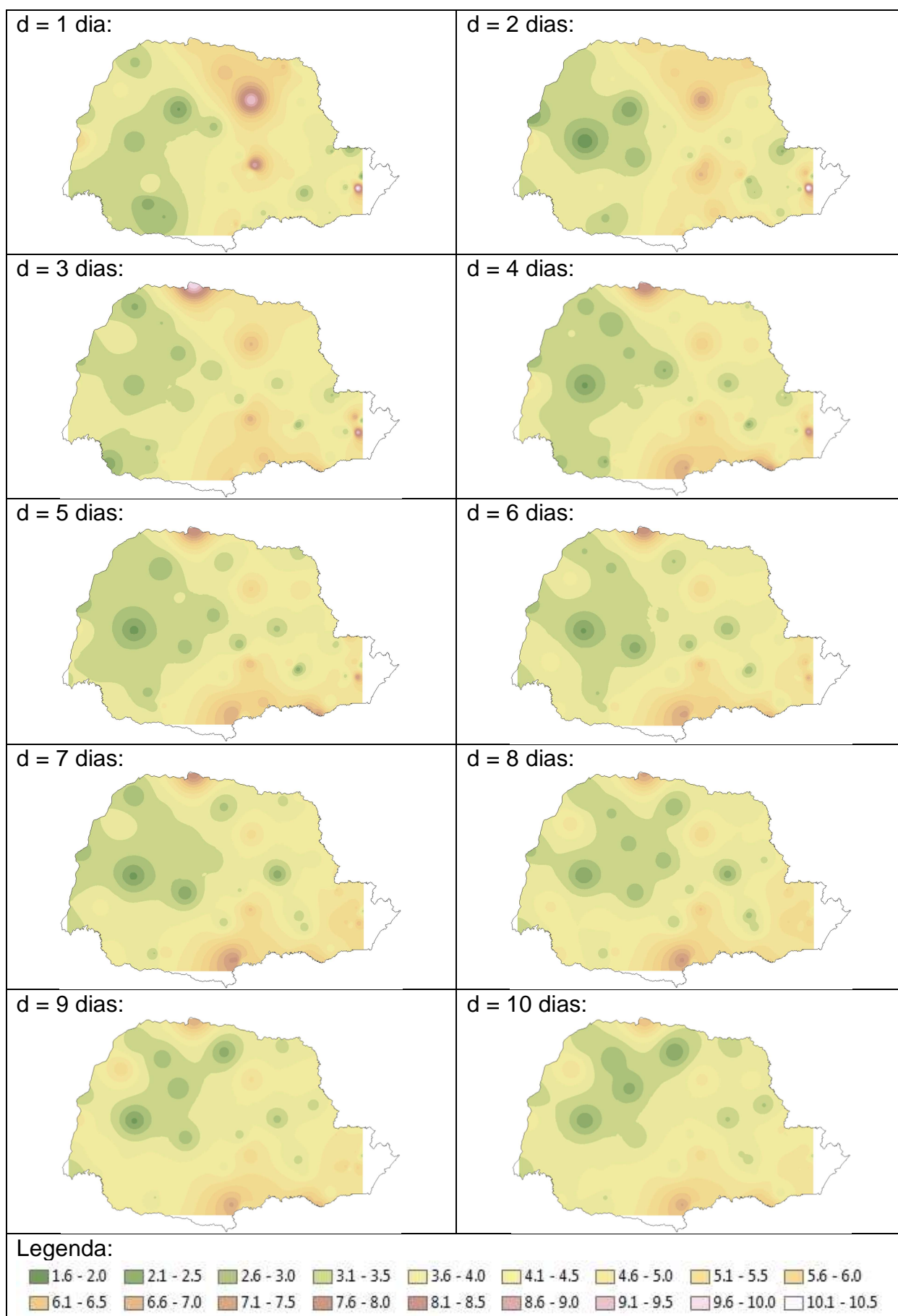
Dentre os possíveis motivos para que isso ocorra está o fato das séries das estações do Simepar serem pouco extensas e das durações dos eventos de chuva serem curtas, o que pode significar que os valores observados em cada ano, das chuvas acumuladas com durações menores, podem não estar englobados nas chuvas acumuladas com durações maiores.

Com relação aos mapas que apresentam a distribuição espacial de  $K$  provenientes das estações convencionais, é possível identificar uma tendência bem definida na disposição destes valores. Os valores mais baixos de  $K$ , que variam de 1,6 a 3,5, estão concentrados principalmente nas regiões oeste e noroeste do estado, valores intermediários, na faixa de 3,6 a 5,0, encontram-se distribuídos por toda a área do estado, e valores superiores a 5,6 apresentam-se de forma mais pontual sobre a região, principalmente nos extremos norte e sul do estado.

Os mapas das estações convencionais demonstram que o aumento do volume de chuva cresce com a duração da chuva de forma coerente entre as estações.



**Figura 6.28 – Distribuição espacial do  $K$  – Estações automáticas**



**Figura 6.29 – Distribuição espacial do K – Estações convencionais**

## **7. ANÁLISE COMPARATIVA COM MÉTODO DE REGIONALIZAÇÃO DA PMP NO ESTADO DO PARANÁ**

Com o objetivo de avaliar os métodos propostos para a estimativa da PMP desenvolvidos neste trabalho, decidiu-se comparar os resultados obtidos através de suas aplicações com os resultados de um método de regionalização da PMP definido para o estado do Paraná.

Em sua pesquisa de mestrado, CARVALHO (2000) determinou um modelo regional para a estimativa da PMP para durações de 1 a 4 dias em qualquer ponto do estado do Paraná.

Foram utilizadas 45 estações meteorológicas distribuídas no estado e estimada a PMP para cada estação através do método hidrometeorológico.

A análise regional da PMP de 1 a 4 dias foi feita pelo modelo de regressão log-linear com os parâmetros estimados pelo método dos mínimos quadrados ponderados (WLS).

As características físico-climáticas adotadas como variáveis explicativas no modelo de regressão foram a média e o desvio padrão das precipitações máximas anuais de 1 dia de duração e a média das máximas temperaturas diárias anuais, além da localização no estado do Paraná, que foi dividido em quatro regiões. Estas variáveis foram regionalizadas pelo método de interpolação multiquadrática e mapas de isolinhas foram traçados para cada grandeza, com o objetivo de facilitar a aplicação do método em regiões que não possuam estas informações ou cujas séries de dados sejam curtas.

Como resultado da regionalização foram determinadas quatro equações de regressão, uma para cada região do estado, para a estimativa da PMP de 1 a 4 dias de duração no estado do Paraná.

Para a realização das análises comparativas entre os métodos propostos neste estudo e o método descrito acima, primeiramente foram selecionadas 13 estações pluviométricas distribuídas no estado do Paraná que não tivessem sido utilizadas no desenvolvimento de nenhum dos modelos e que estivessem contidas nas quatro regiões do estado do Paraná definidas no

método de CARVALHO (2000). Estas estações estão listadas na Tabela 7.1 e apresentadas no mapa do Paraná na Figura 7.1.

**Tabela 7.1 – Estações pluviométricas selecionadas**

<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Município</b>	<b>Lat.</b>	<b>Long.</b>	<b>Alt.</b>	<b>Data Instalação</b>
2548043	Bananal	Guaraqueçaba	-25,2	-48,4	16,0	14/06/1974
2548049	Colônia Santa Cruz	Paranaguá	-25,6	-48,6	32,0	06/06/1974
2549040	Contenda	Contenda	-25,7	-49,5	882,0	16/07/1974
2549054	Tigre	Cerro Azul	-25,1	-49,1	938,0	03/10/1974
2550035	Turvo	Rebouças	-25,7	-50,5	790,0	07/09/1975
2450054	Cerro Azul	Ipiranga	-24,9	-50,6	905,0	10/10/1975
2449045	Barra Mansa	São José da Boa Vista	-24,1	-49,7	850,0	07/11/1975
2252022	Terra Rica	Terra Rica	-22,7	-52,6	437,0	12/08/1975
2353047	Guaiporã	Cafezal do Sul	-23,9	-53,6	384,0	10/01/1976
2553007	Salto de Lontra	Salto do Lontra	-25,8	-53,3	444,0	16/03/1965
2452041	Santo Antônio	Roncador	-24,5	-52,2	819,0	20/10/1975
2651035	Fazenda Santa Tereza	Coronel Domingos Soares	-26,4	-51,9	1180,0	13/02/1976
2350032	Cerro Leão	Assaí	-23,4	-50,9	533,0	20/08/1975

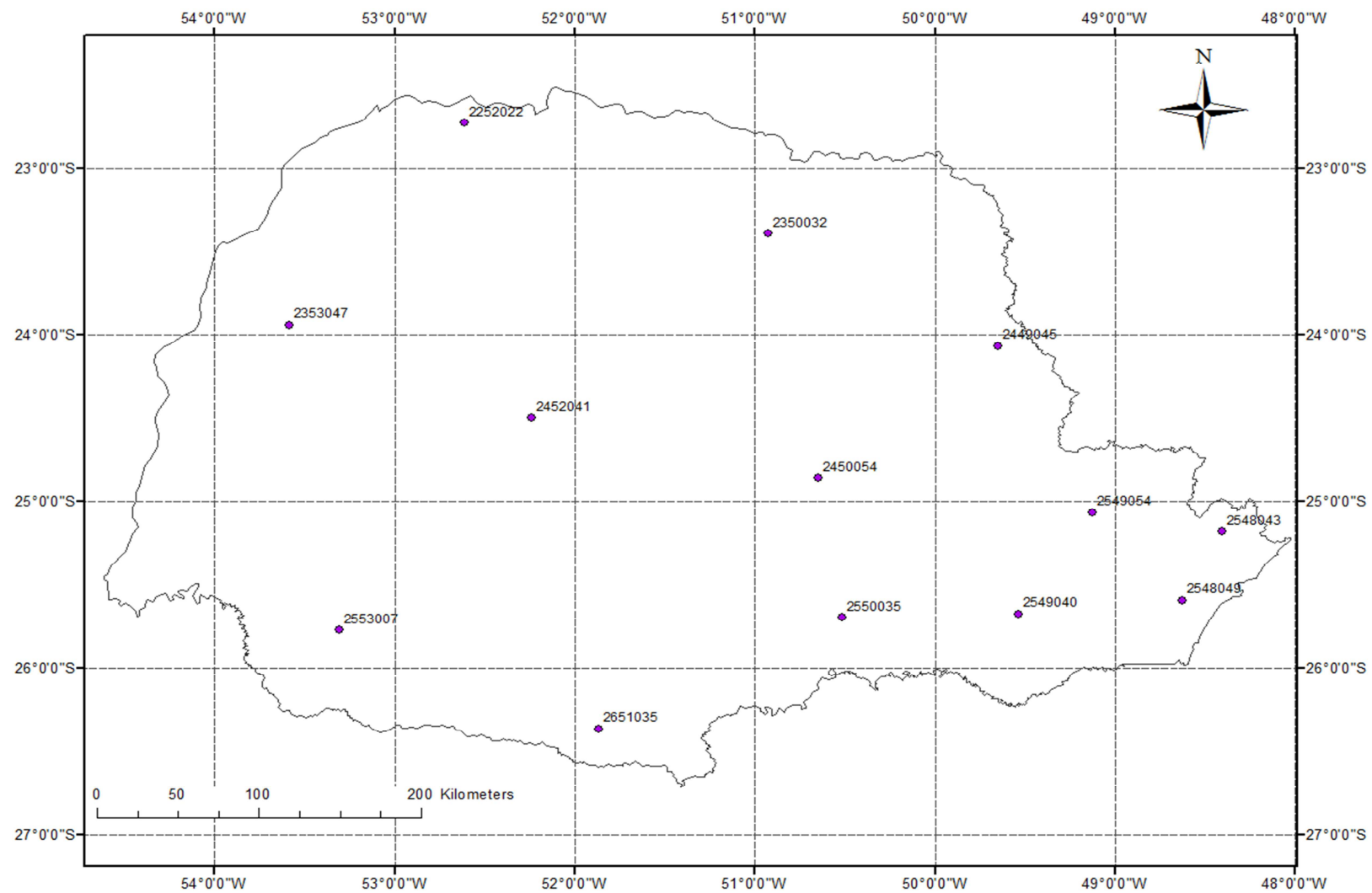
Para a aplicação do método de CARVALHO (2000), foram utilizados os mapas de isolinhas propostos para a estimativa das grandezas necessárias para o cálculo da PMP: a média, o desvio padrão das chuvas máximas anuais de 1 dia de duração e a média das máximas temperaturas diárias anuais.

Para aplicação dos métodos propostos, foram calculados a média das séries de precipitações máximas anuais bem como o desvio padrão para as 4 durações das 13 estações.

Os valores de  $K$  foram estimados de duas formas, através da equação empírica definida para o estado do Paraná (Figura 6.24), e a partir do modelo de simulação, adotando-se a faixa de confiança de 99,9%. A Tabela 7.2 apresenta os valores de  $K$  estimados pelos dois métodos.

Na Tabela 7.3 são apresentadas as estações e os parâmetros estatísticos necessários para a aplicação dos métodos.

Os resultados obtidos para a PMP a partir da aplicação dos três métodos, com durações de 1 a 4 dias estão apresentados na Tabela 7.4. A Tabela 7.5 mostra as diferenças encontradas entre os resultados obtidos.



**Figura 7.1 – Estações pluviométricas selecionadas**

Tabela 7.2 – Fatores de frequência

Estação	Modelo de Simulação				Equação Empírica - Figura 6.24			
	1 dia	2 dias	3 dias	4 dias	1 dia	2 dias	3 dias	4 dias
2548043	11.92	11.18	13.21	11.82	10.41	8.84	7.66	6.96
2548049	7.59	9.26	8.83	8.20	10.79	9.65	8.74	8.04
2549040	8.87	8.24	8.38	9.17	12.27	11.54	11.00	10.58
2549054	7.97	8.66	7.92	7.99	12.59	11.68	11.02	10.45
2550035	9.03	10.24	9.40	15.94	12.06	11.22	10.58	9.97
2450054	7.14	6.62	6.83	6.89	12.06	11.32	10.75	10.31
2449045	12.24	11.08	10.00	9.65	11.90	10.81	10.17	9.61
2252022	6.67	8.39	13.84	12.93	11.84	10.85	10.31	9.89
2353047	6.37	7.12	7.04	8.24	11.53	10.40	9.79	9.19
2553007	6.06	7.41	7.12	8.38	11.47	10.32	9.54	9.03
2452041	8.09	6.13	8.50	6.59	11.66	10.53	9.79	9.28
2651035	6.02	11.45	10.94	12.41	11.43	10.08	9.21	8.58
2350032	6.92	7.94	7.57	6.54	11.78	10.55	9.66	9.07

Tabela 7.3 – Parâmetros estatísticos das estações pluviométricas selecionadas

Estação	Método de Regionalização				Métodos Propostos							
					1 dia		2 dias		3 dias		4 dias	
	Região	P <sub>média</sub>	S	T <sub>máx</sub>	P <sub>média</sub>	S	P <sub>média</sub>	S	P <sub>média</sub>	S	P <sub>média</sub>	S
2548043	0	107,5	28,0	26,9	143,17	55,02	186,46	68,04	217,62	91,58	233,38	94,35
2548049	0	104,0	28,0	25,8	131,21	51,49	162,02	62,61	185,19	71,54	202,39	73,96
2549040	1	78,0	22,0	23,4	81,42	22,58	99,83	30,33	112,59	34,00	122,03	36,62
2549054	1	81,0	20,0	25,8	71,15	21,66	95,43	25,93	111,93	29,03	125,79	31,19
2550035	2	80,0	24,5	23,7	89,78	28,77	111,10	35,52	126,85	42,68	141,51	49,96
2450054	2	76,5	22,0	23,8	90,17	22,42	108,91	27,00	122,30	30,23	131,84	30,94
2449045	2	77,0	21,0	25,7	95,65	46,77	125,83	66,98	141,65	74,54	155,47	79,08
2252022	3	88,0	21,5	30,2	96,55	27,57	123,29	47,29	134,61	49,62	143,67	50,03
2353047	3	100,0	30,0	26,1	106,06	28,27	136,75	34,78	151,03	36,36	165,31	42,54
2553007	3	101,0	26,0	26,3	107,48	26,74	138,32	42,00	157,70	48,83	169,09	53,56
2452041	3	95,0	18,0	26,9	101,53	24,59	131,67	23,71	149,83	30,41	161,32	32,64
2651035	3	95,0	28,0	23,7	110,10	27,61	147,80	44,85	170,29	60,11	185,44	72,02
2350032	3	89,5	25,0	27,0	97,53	28,15	132,00	40,53	155,61	42,61	169,47	43,13



Tabela 7.4 – Resultados da PMP

Estação	Método de Regionalização				Modelo de Simulação				Equação Empírica - Figura 6.24			
	1 dia	2 dias	3 dias	4 dias	1 dia	2 dias	3 dias	4 dias	1 dia	2 dias	3 dias	4 dias
2548043	243	377	442	480	799	947	1427	1349	716	788	919	891
2548049	238	368	434	476	522	742	817	809	687	766	811	797
2549040	203	293	322	331	282	350	397	458	358	450	486	509
2549054	201	291	316	320	244	320	342	375	344	398	432	452
2550035	216	293	348	376	350	475	528	938	437	510	579	640
2450054	203	272	324	352	250	288	329	345	361	414	447	451
2449045	201	264	310	331	668	868	887	919	652	850	900	915
2252022	224	291	322	338	280	520	821	790	423	636	646	639
2353047	269	381	434	460	286	384	407	516	432	498	507	556
2553007	255	376	434	463	270	450	505	618	414	572	624	653
2452041	213	327	385	418	300	277	408	377	388	381	448	464
2651035	253	368	429	467	276	661	828	1079	426	600	724	804
2350032	238	318	359	382	292	454	478	451	429	560	567	560

Tabela 7.5 – Diferenças entre resultados da PMP

Estação	Diferença - Modelo Simulação em relação ao Método de Regionalização				Diferença - Equação Empírica em relação ao Método de Regionalização				Diferença - Equação Empírica em relação ao Modelo de Simulação			
	1 dia	2 dias	3 dias	4 dias	1 dia	2 dias	3 dias	4 dias	1 dia	2 dias	3 dias	4 dias
2548043	229%	151%	223%	181%	195%	109%	108%	86%	-10%	-17%	-36%	-34%
2548049	120%	102%	88%	70%	189%	108%	87%	67%	32%	3%	-1%	-2%
2549040	38%	19%	23%	38%	76%	53%	51%	54%	27%	29%	22%	11%
2549054	21%	10%	8%	17%	71%	37%	37%	41%	41%	24%	26%	21%
2550035	62%	62%	52%	150%	102%	74%	66%	70%	25%	7%	10%	-32%
2450054	24%	6%	1%	-2%	78%	52%	38%	28%	44%	44%	36%	31%
2449045	232%	228%	186%	177%	224%	222%	190%	176%	-2%	-2%	1%	0%
2252022	25%	79%	155%	134%	89%	119%	101%	89%	51%	22%	-21%	-19%
2353047	6%	1%	-6%	12%	60%	31%	17%	21%	51%	30%	25%	8%
2553007	6%	19%	16%	33%	62%	52%	44%	41%	54%	27%	23%	6%
2452041	41%	-15%	6%	-10%	82%	17%	16%	11%	29%	38%	10%	23%
2651035	9%	80%	93%	131%	69%	63%	69%	72%	54%	-9%	-13%	-26%
2350032	23%	43%	33%	18%	81%	76%	58%	47%	47%	23%	19%	24%

O método de regionalização utiliza os valores do desvio padrão e da média para chuvas com duração de 1 dia. Estes valores são obtidos a partir de mapas de isolinhas propostos no método de regionalização.

Ao se comparar o valor do desvio padrão obtido pelo método de regionalização com o valor do desvio padrão das séries observadas de máximos anuais de chuvas com duração de 1 dia para cada estação, verifica-se que os valores resultantes dos dados observados são quase sempre maiores que os provenientes do mapa de isolinhas, com exceção de duas estações. Estes valores resultaram em média 31% maiores que os do método de regionalização.

Com relação aos valores médios das chuvas máximas de 1 dia de duração, essa diferença ficou em média 12%, também com os valores obtidos dos dados observados maiores do que os apresentados no mapa de isoietas. Apenas uma estação apresentou o inverso.

Como pode ser visto na Tabela 7.4, os resultados da PMP obtidos pela equação empírica resultaram maiores do que os resultados obtidos pelo método de regionalização para todas as localidades analisadas. As diferenças para as quatro durações de chuva variaram de 11% a 224%. Pode-se observar que, em média, a diferença entre os resultados diminui conforme se aumenta a duração da chuva. Estes valores médios para as durações de 1 a 4 dias são respectivamente de 106%, 78%, 68% e 62%.

Os resultados da PMP obtidos pelo modelo de simulação resultaram na maior parte das vezes (92%) maiores do que os resultados obtidos pelo método de regionalização. Em média, para as durações de 1 a 4 dias, as diferenças obtidas são de respectivamente 64%, 60%, 68% e 73%.

Um novo cálculo da PMP pelo método de regionalização foi feito com os valores da média e do desvio padrão obtidos a partir dos dados observados. Os valores da PMP obtidos adotando-se estes parâmetros resultaram em média 19% maiores dos que os obtidos com a média e o desvio padrão dos mapas de isolinhas.

Os resultados provenientes da equação empírica continuaram maiores que os do método de regionalização, entretanto verificou-se uma diminuição

significativa na diferença dos resultados, que variaram entre 1% e 118%. Esta diminuição nas diferenças ficou em cerca de 40%. As diferenças seguiram diminuindo com o crescimento da duração da chuva, passando aos valores médios de 73%, 47%, 40% e 38% respectivamente para as durações de 1 a 4 dias.

Os resultados obtidos pelo modelo de simulação continuaram resultando maiores do que os resultados obtidos pelo método de regionalização na maior parte das vezes (85%), entretanto verificou-se uma diminuição significativa na diferença entre os resultados, que ficou em cerca de 45%. Em média, para as durações de 1 a 4 dias, as diferenças obtidas são de respectivamente 34%, 30%, 37% e 45%.

A partir desta análise, observou-se nos dois casos, que em média 30% da diferença entre os resultados obtidos a partir dos dois métodos deve-se ao fato dos valores da média e do desvio padrão utilizados no método de regionalização serem significativamente menores do que os valores resultantes das séries observadas, principalmente com relação aos desvios padrões.

Outro fator que pode explicar a diferença entre os resultados dos métodos propostos e do método de regionalização é o fato deste último método ter sido determinado utilizando-se valores de PMP calculados a partir do método hidrometeorológico.

Com base no exposto, verifica-se que os métodos propostos neste trabalho resultam em valores mais conservadores da PMP do que os obtidos pelo método de CARVALHO (2000) para o estado do Paraná.

## 8. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram propostos dois modelos para a estimativa do fator de frequência  $K$  para o cálculo da PMP estatística com durações que variam de 1 hora a 10 dias. O primeiro deles refere-se a um modelo (equação (4.1)) para a representação matemática do gráfico de Hershfield (Figura 2.1) tendo sido aplicado neste estudo também para a extrapolação das curvas apresentadas no gráfico. O segundo trata-se de um modelo de simulação de séries sintéticas para a estimativa de limites superiores de  $K$  para determinadas faixas de confiança.

Os modelos propostos foram aplicados às séries de totais acumulados de precipitações máximas anuais de 37 estações automáticas e 50 estações convencionais localizadas no estado do Paraná contemplando durações de chuva entre 1 hora e 10 dias.

Os valores do fator de frequência resultantes da aplicação dos modelos foram analisados no Capítulo 6 e estão apresentados no Apêndice F.

Com base na análise dos resultados obtidos, pode-se concluir que o método proposto por Hershfield é um método bastante conservador para a estimativa da PMP no estado do Paraná, tendo em vista que os resultados de  $K$  obtidos por este método para as estações do Simepar com durações de chuva de 1h a 24h resultaram sempre maiores que os valores obtidos a partir da análise do histórico e também maiores que os do modelo de simulação em 61% das vezes.

Analisando-se as diferenças encontradas entre os resultados provenientes do método de extrapolação do gráfico de Hershfield e do método de simulação, apesar de não ocorrer em 100% das vezes, os valores do primeiro modelo ficaram maiores que os do modelo de simulação. Entretanto, foi observado no item 6.2 que a equação (4.1) representativa das curvas do gráfico de Hershfield não é adequada para a extrapolação das mesmas, sendo recomendada somente para a aplicação do método de Hershfield a eventos de chuva com durações que variam entre 5 minutos e 24 horas.

Os resultados do modelo de simulação, que representam o limite superior para a faixa de confiança de 99,9%, apresentam valores menos conservadores para a região de estudo, apesar de ter ocorrido em alguns casos valores maiores pelo modelo de simulação do que pelo método de Hershfield extrapolado. O modelo de simulação pode ser considerado válido tendo em vista a diminuição dos resultados de  $K$  conforme se aumenta a quantidade de dados amostrais, confirmando a redução do intervalo da faixa de confiança.

O primeiro modelo mostrou-se adequado para a representação das curvas apresentadas no gráfico de Hershfield, e também para a interpolação das mesmas, não sendo indicado para a extrapolação do método.

O segundo modelo também se mostrou adequado para a estimativa do fator de frequência, podendo ser utilizado no cálculo da PMP pelo método estatístico com durações superiores a 24 horas.

Um terceiro método foi proposto para a estimativa de  $K$  no estado do Paraná para durações de chuva de 1 hora a 10 dias. A partir dos valores do fator de frequência obtidos pela análise do histórico e pela aplicação do segundo modelo, foram determinados gráficos empíricos para o estado do Paraná, para a estimativa de  $K$  em função da duração da chuva e da média das precipitações máximas anuais com durações de 1 a 24 horas, e de 1 a 10 dias. Os gráficos recomendados e suas respectivas equações estão apresentados na Figura 6.23 e na Figura 6.24.

Analisando-se estas figuras, verificou-se que para durações de chuva de 1 a 10 dias os valores de  $K$  decrescem com o aumento da duração da chuva, enquanto que para as durações de 1h a 24 h ocorre o inverso, o valor de  $K$  aumenta com o crescimento duração da chuva.

Os resultados de  $K$  obtidos a partir do histórico para as durações de 1 a 24 horas, e de 1 a 10 dias, foram utilizados para a elaboração de mapas que apresentassem a distribuição espacial de  $K$  sobre o estado do Paraná.

A análise destes mapas mostrou que os valores de  $K$  para as durações de chuva de 1 a 10 dias apresentam uma tendência em sua distribuição espacial sobre a região de estudo.

O modelo de simulação e as equações empíricas do gráfico apresentado na Figura 6.24, recomendados para a estimativa do fator de frequência, foram avaliados através da comparação de resultados da PMP obtidos por estes métodos e por outro método proposto anteriormente para a estimativa da PMP no estado do Paraná. Nesta análise, foram avaliadas 13 estações pluviométricas com durações de chuva de 1, 2, 3 e 4 dias.

Os métodos propostos resultaram em valores de PMP mais conservadores do que os obtidos pelo método proposto por CARVALHO (2000). Em média, o modelo de simulação resultou em valores 66% maiores, enquanto a equação empírica obteve resultados 78% maiores. Desta forma, verificou-se também que o gráfico empírico é mais conservador do que o modelo de simulação.

De forma geral, com base nas análises efetuadas, foi concluído que o método de Hershfield é conservador para a estimativa da PMP no estado do Paraná, e que tanto o modelo de simulação proposto quanto às equações empíricas determinadas para o estado do Paraná são adequados para a estimativa do fator de frequência utilizado no cálculo da PMP estatística.

Analisando-se todo o trabalho desenvolvido e as considerações expostas, conclui-se que os objetivos propostos nesta dissertação foram atendidos.

Como recomendações para estudos futuros, sugere-se:

- Ampliar os estudos para outras regiões do Brasil, principalmente as de interesse energético, para as quais a estimativa da PMP é muito importante no dimensionamento dos vertedores de usinas hidrelétricas;
- Complementar os estudos analisando-se uma maior quantidade de estações pluviométricas localizadas no estado do Paraná;
- Desenvolver um método de simulação para determinar a distribuição do fator de frequência  $K$  através da geração de séries sintéticas horárias e diárias de precipitação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AARTS, E.; KORST, J. **Simulated Annealing and Boltzmann Machines**. New York: John Wiley and Sons, 1989. 272 p.

ARAUJO, W.O.; COELHO, C.J. **Análise de Componentes Principais (PCA)**. Anápolis: Centro Universitário de Anápolis. Relatório Técnico, 2009. 11 p.

BURGER, L.C.; KAVISKI, E. Análise e Extrapolação do método de Hershfield para determinação da Precipitação Máxima Provável. In: Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves.

CALLISTER, JR., W.D. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

CARVALHO, M.C.L. **Análise Regional da Precipitação Máxima Provável no Estado do Paraná**. 2000. 150 p. Dissertação – Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CASAS M.C.; RODRÍGUEZ, R.; NIETO, R.; REDAÑO, A. The estimation of probable maximum precipitation: The case of Catalonia. Trends and directions in climate research. In: Annals of the New York Academy of Sciences, v. 1146, p. 291–302, 2008.

CASAS M.C.; RODRÍGUEZ, R.; PROHOM, M.; GÁZQUEZ, A.; REDAÑO, A. Estimation of the probable maximum precipitation in Barcelona (Spain). **International Journal of Climatology**, v. 31, n. 9, p. 1322–1327, 2011.

CORREIA, F.N. **Método de análise e determinação de caudais de cheia**. LNEC, Lisboa, 1983.

DESA M, M.N.; NORIAH, A.B.; RAKHECHA, P.R. Probable maximum precipitation for 24 h duration over southeast Asian monsoon region—Selangor, Malaysia. **Atmospheric Research**, v. 58, n. 1, p. 41-54, 2001.

DESA M, M.N.; RAKHECHA, P.R. Probable maximum precipitation for 24-h duration over an equatorial region: Part 2 - Johor, Malaysia. **Atmospheric Research**, v. 84, n. 1, p. 84-90, 2007.

DESHPANDE, N.R.; KULKARNI, B.D.; VERMA, A.K.; MANDAL, B.N. Extreme rainfall analysis and estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP) by statistical methods over the Indus river basin in India. **Journal of Spatial Hydrology**, v. 8, n. 1, p. 22-36, 2008.

DETZEL, D.H.M.; BESSA, M.R.; MINE, M.R.M.; VALLEJOS, C.A.V. SANTOS, A.B.; THOMSEN, L.S.; BLOOT, M.L.; ESTRÓCIO, J.P. Estacionariedade das Afluências às Usinas Hidrelétricas Brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 3, p. 95-111, 2011.

DHAR, O.N.; KULKARNI A.K.; RAKHECHA, P.R. Probable maximum point rainfall estimation for the southern half of the Indian peninsula. **Proceedings of the Indian Academy of Sciences - Earth and Planetary Sciences**, v. 90, n. 1, p. 39-46, 1981.

ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A. **Guia Para Cálculo de Cheia de Projeto de Vertedores**. Rio de Janeiro, 1987.

FERREIRA, D.F. **Análise Multivariada**. Lavras: UFLA, 1996. 400 p.

GALVÍNCIO, J.D.; SOUSA, F.A.S. Precipitação Máxima Provável com duração de um dia no estado da Paraíba. In: Anais do XII Congresso Brasileiro de meteorologia, 2002, Foz do Iguaçu.

GHAHRAMAN, B. The estimation of one day duration probable precipitation over Atrak watershed in Iran. **Iranian Journal of Science and Technology**, v. 32, n. b2, p. 175-179, 2008.

GUJARATI, D.N. **Econometria Básica**. São Paulo: Pearson, 2000. 846 p.

HÄRDLE, W.K.; HLÁVKA, Z. **Multivariate Statistics**. New York: Springer, 2007. 368 p.

HEERMANN, D.W. **Computer Simulation Methods in Theoretical Physics**. New York: Springer, 1990. 145 p.

KAVISKI, E.; CUNHA, L.M.; LAMBROS, D.; GARCIA, C.S. Parametrização de curvas de intensidade de precipitação pelo método do recozimento simulado. In: Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2007, São Paulo.

KELMAN, J.; DAMÁZIO, J.M. Fator de Segurança para Cheia Decamilenar. In: VI Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos e Simpósio Internacional de Recursos Hídricos em Regiões Metropolitanas, 1985, São Paulo.

KOUTSOYIANNIS, D. A probabilistic view of Hershfield's method for estimating probable maximum precipitation. **Water Resources Research**, v. 35, n. 4, p. 1313-1322, 1999.



MACHADO, E.S.; KAVISKI, E.; PORTO, M.F.A.; SCUISSIATO, C. Otimização de sistemas regionais de tratamento de efluentes através do algoritmo do Recozimento Simulado. In: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió.

MAGALHÃES, P.C. Hidrologia Superficial. In: **Engenharia Hidrológica**. Rio de Janeiro: ABRH, Ed. da UFRJ, 1989. 404 p. v. 2, p. 201-289.

MAIDMENT, D.R. **Handbook of Hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1993. 1424 p.

METROPOLIS, N.; ROSENBLUTH, A.W.; ROSENBLUTH, M.N.; TELLER, A.H. Equation of state calculations by fast computing machines. **Journal of Chemical Physics**, v. 21, n. 6, p. 1087-1092, 1953.

MORENO, S.R.; KAVISKI, E. Daily Scheduling Hydroelectric Power Plants Dispatch. **Revista Pesquisa Operacional**. Trabalho aceito para publicação, 2014.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Estimating Bounds on Extreme Precipitation Events – A Brief Assessment**, Report of the Committee on Meteorological Analysis, Prediction and Research. National Academy Press. Washington, DC., 1994. 28 p.

OCCHIPINTI, A.G. Hidrometeorologia. In: **Engenharia Hidrológica**. Rio de Janeiro: ABRH, Editora da UFRJ, 1989. 404 p. v. 2, p. 19-141.

PEREIRA, M.A.; VASCONCELOS, J.A. Recozimento Simulado. In: GASPAR-CUNHA, A.; TAKAHASHI, R.; ANTUNES, C.H. **Manual de Computação Evolutiva e Metaheurística**. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2012. 453 p.

PRESS, W.H.; TEUKOLSKY, S.A.; VETTERLING, W.T.; FLANNERY, B.P. **Métodos Numéricos Aplicados**. Porto Alegre: Bookman, 2011. 1260 p.

RAKHECHA, P.R.; DESHPANDE, N.R.; SOMAN, M.K. Probable maximum precipitation for a 2-day duration over the Indian peninsula. **Theoretical and Applied Climatololy**, v. 45, p. 277-283, 1992.

RAKHECHA, P.R.; SOMAN, M.K. Estimation of probable maximum precipitation for a 2-day duration: Part 2 – North Indian Region. **Theoretical and Applied Climatololy**, v. 49, p. 77-84, 1994.

SUGAI, M.R.V.B. **Tempo de Recorrência Associado à Precipitação Máxima Provável na Região Sul do Brasil**. 1989. 155 p. Dissertação – Centro de Hidráulica e Hidrologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

TINGSANCHALI, T.; TANMANEE, S. Assessment of hydrological safety of Mae Sruai Dam, Thailand. **Procedia Engineering**, v. 32, p. 1198-1204, 2012.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS: ABRH: EDUSP, 1993. 943 p. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos). ISBN 85-7025-298-6.

TUCCI, C.E.M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Editora da UFRGS: ABRH, 2005. 678 p. ISBN 85-7025-823-2.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation**. Geneva, 1973. 190 p. (Operational Hydrology Report)

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation - PMP**. Geneva, 2009a. 291 p.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to Hydrological Practices**, Volume II – Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices. Geneva, 2009b. 302 p.

## **APÊNDICE A**

### **Ajuste de Modelos Não Lineares**

Considera-se o ajuste de modelos que dependem não linearmente de um conjunto de  $m$  parâmetros  $a_k (k=1,...,m)$  desconhecidos. Define-se uma função de mérito ( $E$ ) e determinam-se os melhores parâmetros de ajuste por minimização do somatório dos quadrados dos resíduos:

$$E = \sum_{j=1}^N (y_j - \hat{y}_j)^2, \quad (\text{A.1})$$

sendo:  $\hat{y}_j = f(\underline{x}_j, a_1, \dots, a_m)$ ,

$\underline{x}_j (j=1,...,N)$  são vetores de dimensão  $n$  de variáveis conhecidas,  $y_j (j=1,...,N)$  a variável a ser modelada, e  $N$  é o número de observações (experimentos) conhecidas. A minimização pode ser feita iterativamente usando-se o método do recozimento simulado (PRESS *et al.*, 2011).

Os algoritmos de recozimento simulado podem garantir a solução ótima global aproximada de qualquer função, incluindo funções descontínuas e funções não convexas. A principal vantagem desta técnica é sua característica de utilizar uma estratégia de busca que permite movimentos probabilísticos, evitando que se fique restrito somente a um local ótimo. O conceito foi introduzido por METROPOLIS *et al.* (1953) para solucionar problemas de mecânica estatística usando o método de Monte Carlo. MACHADO *et al.* (2011) aplicaram este método para analisar soluções ótimas no dimensionamento de sistemas de tratamento de efluentes.

O algoritmo fundamenta-se no processo físico do recozimento. De acordo com CALLISTER (2006), neste processo, a temperatura é elevada para permitir a mobilidade das moléculas. Em seguida, um resfriamento lento e contínuo é aplicado até atingir-se a temperatura ambiente, fazendo com que as moléculas formem uma estrutura cristalina. A elevada mobilidade das moléculas em uma temperatura inicial alta permite que elas atinjam diferentes estágios. Seguindo um esquema de recozimento adequado, as moléculas chegarão a um estágio de energia mínima e a uma configuração cristalina ordenada. O algoritmo de METROPOLIS gera uma sequência de estágios. Se a energia do estágio inicial é  $E_i$ , então um mecanismo de perturbação é aplicado, gerando uma energia  $E_j$  no segundo estágio. Se  $E_j - E_i \leq 0$ , então

$j$  será o segundo estágio. De outra forma,  $E_j$  pode ser aceito como o próximo estágio de acordo com probabilidade proporcional ao fator de Boltzmann:  $\exp\left(\frac{(E_j - E_i)}{kT}\right)$ , onde  $k$  é a constante de Boltzmann e  $T$  é a temperatura do processo.

AARTS e KORST (1989) provaram que o algoritmo do recozimento simulado, formulado como uma sequência de cadeias de Markov de comprimentos homogêneos e finitos, converge em probabilidade para o conjunto de soluções ótimas. Em outras palavras, assintoticamente o algoritmo encontra uma solução ótima associada a probabilidade um. Como este resultado somente é atingido depois de um número infinito de transições, nas aplicações práticas deve-se recorrer a uma aproximação da convergência assintótica.

O algoritmo do recozimento simulado pode ser descrito pelos seguintes passos:

- (i) Escolha de uma configuração inicial;
- (ii) Teste da viabilidade da configuração inicial;
- (iii) Estabelecimento de uma temperatura inicial e de um esquema de aquecimento;
- (iv) Com  $j$  variando de 1 até o número de estados, repetir os passos (v) ao (ix);
- (v) Geração de uma perturbação na configuração inicial para obter uma solução candidata;
- (vi) Teste da viabilidade da solução candidata;
- (vii) Se  $E_2 < E_1$ , a solução candidata é aceita;
- (viii) Se  $E_2 > E_1$ , o critério de METROPOLIS é testado:  $p > 0$ , a solução candidata é aceita;
- (ix) Repetição dos passos (v) ao (viii) até número de simulações < máximo número de simulações ou número de sucessos < máximo número de sucessos.

## **APÊNDICE B**

### **Estimativa dos Parâmetros da Distribuição Log-Normal**

Se  $Y$  é uma variável aleatória distribuída segundo uma distribuição log-normal, então

$$Y = \tau + \exp(X), \quad (\text{B.1})$$

onde  $X$  é uma variável aleatória normal. Quando o limite inferior  $\tau$  é zero,  $Y$  tem uma distribuição log-normal a 2 parâmetros. A equação (B.1) transforma a variável normal  $X$  em variáveis distribuídas segundo o modelo log-normal. A transformação é facilmente invertida para obter

$$X = \ln(Y - \tau) \quad \text{para } Y > \tau \quad (\text{B.2})$$

onde  $Y$  deve ser maior do que o seu limite inferior  $\tau$ .

A média, variância e assimetria de  $X$  e  $Y$  são relacionadas pelas fórmulas

$$\mu_Y = \tau + \exp\left(\mu_X + \frac{1}{2}\sigma_X^2\right)$$

$$\sigma_Y^2 = \exp(2\mu_X + \sigma_X^2) [\exp(\sigma_X^2) - 1]$$

$$\gamma_Y = \frac{\exp(3\sigma_X^2) - 3\exp(\sigma_X^2) + 2}{[\exp(\sigma_X^2) - 1]^{3/2}} = 3\phi + \phi^3$$

$$\text{onde } \phi = [\exp(\sigma_X^2) - 1]^{1/2} \quad (\text{B.3})$$

Se as variáveis normais  $X_s$  e  $X_u$  são utilizadas para gerar as variáveis distribuídas segundo a log-normal  $Y_s$  e  $Y_u$  nos locais  $s$  e  $u$ , então a correlação com *lag*  $k$  das variáveis  $Y$  denotadas por  $\rho_Y(k; s, u)$ , é determinada pela correlação com *lag*  $k$  das variáveis  $X$ , denotadas como  $\rho_X(k; s, u)$ , e suas variâncias  $\sigma_X^2(s)$  e  $\sigma_X^2(u)$ , onde

$$\rho_Y(k; s, u) = \frac{\exp[\rho_X(k; s, u)\sigma_X(s)\sigma_X(u)] - 1}{\{\exp[\sigma_X^2(s)] - 1\}^{1/2} \{\exp[\sigma_X^2(u)] - 1\}^{1/2}} \quad (\text{B.4})$$

Com a expressão (B.4) pode-se determinar  $\rho_X(k; s, u)$  para produzir as correlações observadas entre as variáveis  $Y$ . Entretanto, estimativas mais eficientes da verdadeira correlação dos valores  $Y$  são geralmente obtidas através da transformação das variáveis observadas  $y$  em sua equivalente normal  $x = \ln(y - \tau)$  e utilizando as correlações históricas destes valores  $X$  como estimadores de  $\rho_X(k; s, u)$ .

**APÊNDICE C**  
**Geração de Séries Sintéticas de Totais Acumulados de**  
**Precipitações Máximas Anuais**



Aplicando-se o conjunto de equações apresentadas no item anterior deste apêndice, sobre os dados amostrados de precipitações  $P_{i,j}$ ,  $i = 1, \dots, m$ ;  $j = 1, \dots, n$ , sendo  $m$  o número de durações e  $n$  o número de anos com observações, definem-se os seguintes parâmetros sobre as precipitações transformadas:

$$\hat{\mu} = \begin{bmatrix} \hat{\mu}_1 \\ \hat{\mu}_2 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\sigma} = \begin{bmatrix} \hat{\sigma}_1 \\ \hat{\sigma}_2 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\rho} = \begin{bmatrix} \hat{\rho}_{11} & \hat{\rho}_{12} \\ \hat{\rho}_{21} & \hat{\rho}_{22} \end{bmatrix}$$

onde

$\hat{\mu}_i$  = vetor de médias com  $m$  colunas da série com defasagem ( $lag$ )  $2 - i$  ( $i = 1, 2$ );

$\hat{\sigma}_i$  = vetor de desvios padrões com  $m$  colunas da série com defasagem ( $lag$ )  $2 - i$  ( $i = 1, 2$ );

$\hat{\rho}_{ij}$  = matrizes de correlações com  $m$  linhas e colunas entre as séries com defasagens ( $lag$ )  $2 - i$  e  $2 - j$  ( $i = 1, 2$ ) e ( $j = 1, 2$ ).

Sendo  $X_1$  o vetor de variáveis aleatórias (precipitações transformadas) com defasagem 1 e  $X_2$  com defasagem 0, assume-se que  $\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} \sim N_{2m}(\hat{\mu}, \hat{\rho})$ .

HÄRDLE e HLÁVKA (2007) demonstram que:

$$(X_2|X_1 = x_1) \sim N_m(\hat{\mu}_2 + \hat{\Sigma}_{21}\hat{\Sigma}_{11}^{-1}(x_1 - \hat{\mu}_1), \hat{\Sigma}_{22.1}) \quad (C.1)$$

sendo

$$\hat{\Sigma} = \hat{\sigma}_d \hat{\rho} \hat{\sigma}_d$$

$\hat{\sigma}_d$  = matriz (2p x 2p) com a diagonal principal com valores do vetor  $\hat{\sigma}$

$$\hat{\Sigma}_{22.1} = \hat{\Sigma}_{22} - \hat{\Sigma}_{21}\hat{\Sigma}_{11}^{-1}\hat{\Sigma}_{12}$$

Fatorizando-se (Cholesky) a matriz  $\hat{\Sigma}_{22.1} = \mathbf{A} \mathbf{A}^T$  pode-se demonstrar que:

$$X_2|X_1 = x_1 = \mathbf{A} \mathbf{Z} + \hat{\mu}_2 + \hat{\Sigma}_{21}\hat{\Sigma}_{11}^{-1}(x_1 - \hat{\mu}_1) \quad (C.2)$$

sendo

$$\mathbf{Z} \sim N_p(\mathbf{0}, I)$$

Usando-se a equação (C.2) e a transformação para  $j = 1, \dots, m$ :  
 $Y(j) = \tau(j) + \exp(X_2(j))$  geram-se as séries sintéticas de precipitações  $Y$ .

**APÊNDICE D**  
**Análise dos Componentes Principais**

A análise dos componentes principais (ACP) é um método estatístico cujos principais objetivos são a redução da dimensão original dos dados, a eliminação de sobreposições e a escolha das formas mais representativas de dados. Esta técnica é capaz de separar a informação importante da redundante, por isso é fundamentalmente utilizada em etapas intermediárias de grandes pesquisas científicas.

A ACP relaciona-se à explicação da estrutura de covariância por meio de poucas combinações lineares das variáveis originais em estudo (FERREIRA, 1996). O método encontra autovalores e autovetores da matriz de covariância dos dados, e com esses resultados pode realizar a redução dimensional dos dados e analisar os padrões principais de variabilidade presentes.

Considerada a transformação linear ótima, a análise dos componentes principais consiste em promover uma transformação linear nos dados de modo que os dados resultantes desta transformação tenham suas componentes mais relevantes nas primeiras dimensões.

Dentre os métodos estatísticos de múltiplas variáveis, a ACP é considerada um dos mais simples. O objetivo da análise é tomar  $p$  variáveis  $X_1, X_2, \dots, X_p$  e encontrar combinações desta para produzir índices  $Z_1, Z_2, \dots, Z_p$  que sejam não correlacionados na ordem de sua importância, e que descreva a variação nos dados. A falta de correlação significa que os índices estão medindo diferentes dimensões dos dados (ARAÚJO e COELHO, 2009).

Segundo FERREIRA (1996), a variabilidade de um sistema determinado por  $p$  variáveis só pode ser explicada por  $p$  componentes principais. Entretanto, é possível explicar grande parte desta variabilidade por um número  $k$  menor de componentes.

De acordo com ARAÚJO e COELHO (2009), os passos em uma análise de componentes principais são os seguintes:

a) Codificar as variáveis  $X_1, X_2, \dots, X_p$  para terem médias zero e variâncias unitárias. Isto é omitido em alguns casos em que se assume que a importância das variáveis é refletida em suas variâncias;

b) Calcular a matriz de covariâncias  $\mathbf{C}$ , que é uma matriz de correlações;

c) Encontrar os autovalores  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$  e os correspondentes autovetores  $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_p$ . Os coeficientes do  $i$ -ésimo componente principal são então os elementos de  $\mathbf{a}_i$ , enquanto que  $\lambda_i$  é sua variância.

d) Descartar quaisquer componentes que explicam somente uma pequena proporção da variação nos dados.

## **APÊNDICE E**

### **Teste de Mann-Kendall**

O teste de Mann-Kendall é um teste não paramétrico o qual verifica se existe alguma tendência em uma serie temporal sem especificar se a tendência é linear ou não linear. Trata-se de um teste bilateral que possui duas regiões críticas, à esquerda e à direita da hipótese nula.

As hipóteses são dadas por:

$H_0$  – os elementos amostrais de uma mesma população são sorteados de modo independente, ou seja, não há tendência na população de onde foi sorteada a amostra;

$H_1$  – os elementos amostrais de uma mesma população não são sorteados de modo independente, ou seja, existe uma tendência nos dados.

Considere uma série temporal anual  $x_1, \dots, x_n$ . Cada valor  $x_1, \dots, x_{n-1}$  é comparado com os valores subsequentes  $x_2, \dots, x_n$ . A estatística do teste de Mann-Kendall, sob a hipótese nula  $H_0$ , é dada por:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i), \quad (\text{E.1})$$

onde

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x_j > x_i \\ 0, & \text{se } x_j = x_i \\ -1, & \text{se } x_j < x_i \end{cases}$$

A estatística representa a diferença entre o número de diferenças positivas e o número de diferenças negativas.

Kendall mostrou que  $S$  é normalmente distribuída, cuja variância  $\text{Var}(S)$  é dada por:

$$\sigma^2 = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)] \quad (\text{E.2})$$

onde  $n$  é o numero de observações,  $t_i$  é o numero de observações iguais no grupo  $i$ , e  $m$  é o numero de grupos com observações iguais.

A estatística do teste para  $n > 30$  pode ser calculado por:

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sigma}, & \text{se } S < 0 \end{cases}$$

A hipótese nula  $H_0$  é rejeitada para um nível de significância  $\alpha$ , se dado o valor do quantil  $Z_{\alpha/2}$  de uma distribuição normal padrão temos  $|z| \leq Z_{\alpha/2}$ .

Para o nível de significância adotado de 5%, a hipótese nula de que não há tendência é rejeitada se  $|z| > 1,96$ .



## **APÊNDICE F**

### **Resultados**

**Tabela F.1 – Fator de frequência K – Estações automáticas**

	1 hora			2 horas			3 horas			6 horas			9 horas			12 horas			18 horas			24 horas			48 horas		
	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%
23005002	2.17	11.89	10.18	3.17	12.66	10.97	3.59	13.28	7.48	2.86	14.13	24.94	3.69	14.59	21.25	4.89	14.90	25.10	6.25	15.28	32.85	6.72	15.60	33.60	5.25	16.32	28.87
23055226	2.10	11.31	9.31	3.90	11.64	17.85	3.20	12.34	11.15	3.30	13.35	9.01	2.96	14.04	9.07	2.70	14.46	7.56	2.53	14.80	10.25	4.10	15.19	11.64	4.45	16.05	25.92
23185109	3.13	11.94	14.31	4.66	12.66	17.29	3.00	13.03	43.92	2.50	13.94	12.73	2.62	14.26	9.21	3.90	14.59	8.62	4.80	15.02	13.74	3.25	15.26	12.21	3.68	15.88	11.37
23275159	2.86	12.29	8.43	2.42	12.53	9.78	1.96	13.12	8.21	2.57	13.98	21.01	3.46	14.50	21.64	3.90	14.80	23.30	4.26	15.23	16.96	4.38	15.64	16.52	5.37	16.25	23.03
23395232	3.91	12.32	11.38	2.16	13.01	11.98	1.54	13.36	10.24	2.23	14.14	10.22	1.72	14.50	9.92	1.30	14.66	11.77	2.31	15.18	12.36	2.33	15.57	11.60	3.05	16.04	27.51
23445317	2.85	12.21	19.43	3.98	12.43	11.49	2.76	12.96	8.36	2.72	13.75	18.22	4.35	14.15	30.94	4.23	14.48	15.66	4.31	14.98	18.29	3.98	15.38	19.83	2.63	16.17	14.12
23515154	2.90	12.39	14.50	5.88	12.58	57.64	6.25	12.97	148.48	6.66	13.82	40.99	6.92	14.29	40.47	7.61	14.62	64.82	5.99	15.26	93.40	5.33	15.69	89.14	3.21	16.23	68.04
24035222	2.96	11.78	13.11	5.28	12.03	37.55	5.31	12.67	41.53	4.18	13.50	24.91	3.74	14.19	11.90	3.41	14.68	10.32	2.67	15.14	8.15	2.07	15.46	8.04	2.20	16.04	7.00
24045415	2.90	11.56	26.08	2.54	11.85	15.73	2.27	12.51	6.66	2.64	13.49	13.69	2.82	14.06	8.03	2.99	14.44	6.97	2.86	14.97	9.37	2.85	15.30	8.00	2.09	16.16	8.82
24134940	3.43	12.68	12.18	2.30	13.08	10.66	2.21	13.47	7.75	3.28	14.20	12.05	4.29	14.46	11.28	4.69	14.73	11.15	5.29	15.19	16.32	5.84	15.53	24.96	5.36	16.23	47.13
24185355	2.47	11.67	16.37	2.07	11.59	7.81	1.42	12.10	7.12	3.57	12.85	10.99	2.40	13.45	9.41	1.83	13.96	9.21	1.98	14.61	10.37	2.52	15.02	8.88	3.06	15.98	8.38
24205037	2.08	12.69	8.52	2.16	12.90	10.51	2.47	13.35	10.67	2.19	14.08	16.41	2.05	14.42	11.63	2.85	14.69	18.62	3.17	15.16	11.66	3.69	15.54	16.10	3.37	16.21	15.86
24235332	2.50	11.32	49.64	2.42	11.51	21.44	2.18	11.94	8.77	4.26	12.88	46.33	3.36	13.57	29.15	3.26	14.07	20.05	3.43	14.47	17.15	3.33	14.66	18.08	4.44	15.58	12.26
24385115	5.49	12.47	10.86	2.97	12.99	10.39	2.09	13.42	10.46	1.86	13.89	12.01	1.62	14.23	12.47	1.69	14.54	12.11	2.20	14.92	12.98	2.12	15.36	12.26	2.23	16.06	13.19
24475343	5.70	11.40	28.54	3.88	11.61	11.22	2.35	11.84	7.24	2.46	12.76	12.90	2.52	13.12	8.42	1.97	13.54	6.75	2.14	14.18	7.73	2.72	14.61	7.27	2.25	15.45	12.11
24494915	4.11	12.66	22.89	2.01	12.51	81.01	2.01	12.91	82.49	2.26	14.14	19.78	3.63	14.66	14.14	5.21	14.93	10.17	5.40	15.43	10.19	4.33	15.75	10.49	3.16	16.52	11.50
24505420	1.66	12.06	8.64	4.84	12.03	9.82	4.78	12.24	24.15	3.66	12.82	69.92	3.74	13.35	41.61	3.35	13.84	26.64	2.90	14.52	18.33	2.65	14.99	16.22	2.34	16.02	10.99
24535213	3.74	12.27	13.99	3.38	12.37	10.82	2.85	12.91	8.38	1.77	13.77	8.96	1.84	14.15	8.51	1.74	14.29	7.65	2.75	14.73	7.93	2.87	15.14	8.49	3.45	15.90	9.83
24535333	2.54	11.95	9.11	2.13	11.83	8.35	2.49	12.26	8.33	2.45	13.02	9.51	1.98	13.60	9.11	2.54	13.87	8.13	2.29	14.45	8.23	1.93	14.80	7.57	2.05	15.65	8.24
25115408	3.30	11.65	8.71	2.03	11.66	8.85	2.23	12.15	8.42	1.91	12.86	9.65	1.72	13.47	9.18	1.51	13.81	7.68	2.04	14.57	8.38	2.33	14.99	8.68	2.91	15.93	12.77
25134848	2.03	9.05	9.63	3.25	10.31	9.30	3.68	11.04	15.37	2.61	12.13	15.17	2.43	13.01	16.48	2.36	13.58	9.31	2.11	14.19	10.47	2.85	14.46	9.39	1.96	15.39	9.34
25215130	3.04	12.07	9.63	2.83	12.37	10.86	4.84	12.75	23.07	3.16	13.91	21.03	2.39	14.24	18.75	3.01	14.48	14.56	3.92	14.87	12.23	4.14	15.26	11.63	3.25	16.00	12.47
25245437	4.90	11.66	33.28	3.09	11.29	35.31	2.31	11.59	11.14	4.05	12.69	13.72	3.55	13.33	10.70	3.92	13.74	12.12	3.53	14.39	35.21	3.10	14.78	36.02	2.71	15.80	30.50
25254905	4.69	12.09	13.57	3.37	12.78	10.20	2.21	13.15	9.54	2.55	14.18	8.62	2.67	14.73	8.38	2.50	15.11	9.39	3.05	15.40	13.50	2.70	15.59	11.02	2.90	16.32	10.74
25264916	2.80	12.45	16.32	2.88	12.93	12.07	2.57	13.54	8.40	2.44	14.47	11.36	2.09	14.98	8.24	2.07	15.21	7.96	2.14	15.58	7.59	2.51	15.79	9.24	2.25	16.49	8.22
25275035	2.41	13.54	8.18	3.47	13.60	15.13	3.76	13.91	11.29	2.52	14.32	25.59	2.46	14.64	19.88	2.82	14.81	11.98	2.71	15.24	9.95	2.39	15.56	9.09	2.21	16.27	13.58
25315301	2.22	12.10	37.87	4.32	12.23	39.33	2.65	12.53	23.48	3.35	13.17	28.12	3.77	13.77	53.13	3.25	14.09	29.91	3.58	14.75	33.77	3.58	15.04	40.50	2.42	16.02	66.36
25315329	2.20	12.58	10.89	1.81	12.44	10.07	2.54	12.67	10.38	5.51	13.23	14.45	5.10	13.67	14.84	4.20	14.06	11.94	4.06	14.76	11.77	3.28	15.09	10.68	2.17	15.86	10.54
25324831	2.67	11.00	9.27	2.02	10.46	9.13	2.47	10.36	11.06	3.71	11.17	32.46	3.34	11.90	39.61	2.93	12.51	33.97	2.58	13.33	26.19	2.48	13.86	17.13	2.26	14.86	12.95
25335129	2.05	12.32	10.10	3.72	12.59	15.95	4.04	12.99	10.98	2.79	13.79	11.36	2.01	14.34	21.43	2.10	14.68	26.29	1.93	15.19	8.50	2.37	15.46	14.55	2.97	16.08	12.46
25474946	2.37	12.67	9.44	4.08	13.11	19.40	4.23	13.74	18.92	4.66	14.60	14.32	4.84	14.97	9.83	3.89	15.22	10.25	2.23	15.40	10.55	2.38	15.65	19.26	3.03	16.42	8.64
26055139	4.06	12.07	13.12	2.82	12.39	16.93	2.40	12.82	10.89	2.13	13.69	8.55	2.58	14.17	7.84	2.27	14.44	6.96	1.68	14.80	7.84	1.54	15.06	8.68	2.34	15.68	9.03
26075241	2.72	12.27	19.12	3.04	11.99	13.70	2.80	12.33	13.65	2.88	13.36	10.84	2.06	13.73	8.31	2.03	14.08	7.77	2.19	14.64	8.88	2.72	14.95	13.31	3.59	15.77	32.97
26145103	3.95	12.59	23.41	3.57	12.74	17.93	3.47	13.21	17.18	2.31	14.02	9.96	2.04	14.41	10.85	1.96	14.68	10.51	2.37	15.09	10.46	4.50	15.32	10.85	4.11	16.01	9.83
26285158	2.18	12.43	16.26	2.24	12.85	12.66	2.37	13.24	12.09	5.58	13.74	8.30	6.37	13.79	9.71	7.56	13.97	9.19	5.88	14.32	8.69	7.38	14.54	8.56	5.60	15.31	8.69

**Tabela F.1 – Fator de frequência K – Estações automáticas (continuação)**

	72 horas			96 horas			120 horas			144 horas			168 horas			192 horas			216 horas			240 horas		
	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%
23005002	4.05	16.64	25.35	3.44	16.82	16.44	2.53	16.92	15.53	2.64	17.00	14.92	2.83	17.13	17.07	2.79	17.21	12.12	2.63	17.24	8.32	2.49	17.32	8.49
23055226	3.50	16.30	21.92	3.42	16.62	15.67	2.79	16.72	26.41	2.82	16.81	27.13	3.03	16.89	25.50	3.80	16.98	25.70	3.67	17.02	12.47	4.40	17.04	12.33
23185109	2.85	16.14	10.42	2.49	16.39	15.71	3.81	16.53	16.65	3.52	16.67	12.08	3.94	16.82	10.82	4.79	16.86	12.93	4.50	16.89	11.81	4.76	16.91	14.21
23275159	3.46	16.48	15.03	3.28	16.79	12.11	3.08	16.95	14.59	3.11	17.06	25.01	2.88	17.18	29.62	2.67	17.25	24.23	2.42	17.28	15.75	2.13	17.30	10.48
23395232	2.73	16.42	16.16	2.46	16.71	10.34	2.52	16.83	11.94	2.74	16.90	11.10	4.08	16.90	17.76	3.64	16.94	9.22	3.30	17.04	8.96	2.85	17.08	9.16
23445317	3.21	16.50	47.36	3.45	16.78	34.28	3.48	16.91	20.90	3.01	16.96	23.89	2.64	17.06	11.28	2.34	17.15	8.83	2.43	17.21	10.83	1.96	17.17	8.70
23515154	2.94	16.54	35.97	3.80	16.77	23.37	3.66	16.83	36.35	4.09	16.97	26.73	3.86	17.03	14.12	3.67	17.04	11.79	3.62	17.09	11.13	3.93	17.09	15.24
24035222	3.81	16.43	18.64	3.86	16.74	18.50	4.92	16.96	18.45	5.00	17.06	13.66	3.26	17.08	13.87	2.39	17.09	9.84	1.92	17.11	7.27	1.48	17.14	8.19
24045415	1.72	16.55	8.07	1.74	16.86	7.43	1.84	16.96	7.71	1.60	17.10	7.25	1.30	17.17	6.53	1.70	17.24	7.10	1.69	17.28	6.76	1.95	17.30	6.68
24134940	6.02	16.67	80.84	6.73	16.92	19.09	7.24	17.04	42.24	6.29	17.13	22.04	5.78	17.16	36.23	5.50	17.27	24.32	5.12	17.31	21.95	5.80	17.34	21.83
24185355	3.26	16.31	8.58	3.28	16.61	6.74	3.62	16.78	7.21	3.02	16.93	6.53	2.29	16.98	6.59	1.90	17.07	6.46	1.66	17.15	6.45	2.54	17.20	10.03
24205037	2.87	16.53	10.61	2.93	16.81	11.72	2.44	16.96	7.20	1.80	17.08	7.52	1.53	17.16	7.50	1.58	17.22	7.54	1.61	17.25	7.31	1.64	17.29	7.66
24235332	6.12	16.00	14.03	5.69	16.30	13.60	6.16	16.44	14.80	5.81	16.56	14.62	5.71	16.73	12.31	5.54	16.81	10.93	5.21	16.89	12.61	5.16	16.89	15.02
24385115	1.61	16.47	11.80	1.55	16.79	11.38	1.79	16.92	10.62	1.87	17.02	10.52	1.73	17.14	9.82	1.61	17.23	9.19	1.44	17.31	9.30	1.72	17.30	9.82
24475343	3.37	15.95	13.05	3.03	16.18	15.76	3.98	16.35	19.30	4.18	16.51	15.35	3.54	16.60	17.58	3.38	16.72	13.44	3.19	16.80	10.84	2.80	16.88	10.52
24494915	3.11	16.85	10.92	2.66	17.07	10.71	2.68	17.18	9.07	2.44	17.24	9.69	2.44	17.38	8.53	2.33	17.46	8.63	2.18	17.50	8.22	1.89	17.49	8.40
24505420	1.99	16.48	8.67	1.90	16.64	8.14	3.03	16.73	9.50	3.20	16.88	9.28	3.22	17.00	9.74	3.42	17.10	11.73	3.53	17.18	11.19	3.20	17.17	14.01
24535213	2.78	16.26	10.80	3.24	16.47	16.55	3.96	16.66	25.99	3.95	16.78	12.33	3.73	16.90	15.45	2.72	16.95	16.41	2.34	17.00	8.13	1.82	17.02	8.07
24535333	2.37	16.16	12.77	3.01	16.38	19.99	3.57	16.55	18.61	3.19	16.63	15.18	3.16	16.78	20.38	3.09	16.90	12.91	2.92	17.01	11.19	2.67	17.07	13.91
25115408	2.98	16.35	11.77	3.12	16.50	15.47	3.48	16.66	23.42	3.45	16.82	13.22	3.37	16.96	12.87	3.19	16.96	9.30	3.12	17.08	8.83	2.51	17.11	12.19
25134848	2.36	15.81	9.12	1.77	16.01	8.35	1.83	16.13	8.86	2.40	16.11	8.85	1.95	16.21	8.69	1.87	16.19	8.31	2.77	16.22	8.92	2.52	16.24	9.62
25215130	2.86	16.41	10.62	2.55	16.65	10.80	2.46	16.68	11.06	3.60	16.69	10.00	3.65	16.86	11.88	3.62	16.97	12.97	3.26	17.04	9.21	3.25	17.14	9.96
25245437	2.54	16.05	23.16	2.58	16.36	22.37	2.55	16.52	24.18	2.77	16.69	24.62	2.91	16.84	20.29	3.15	16.84	18.83	3.18	16.93	21.33	3.17	16.99	25.01
25254905	3.47	16.79	13.36	5.37	16.98	24.21	5.75	17.08	20.60	5.38	17.18	21.45	4.15	17.25	20.96	4.01	17.37	22.59	3.68	17.45	18.59	3.60	17.52	16.20
25264916	2.68	16.89	8.27	2.49	17.14	7.88	1.75	17.23	7.67	2.02	17.33	8.20	1.92	17.39	8.14	2.07	17.46	7.67	2.08	17.54	8.14	2.14	17.58	13.04
25275035	2.10	16.60	11.44	2.83	16.78	10.94	2.66	16.94	9.25	2.42	17.07	9.66	2.30	17.16	10.99	2.20	17.19	8.21	2.03	17.26	8.92	2.06	17.35	10.14
25315301	2.25	16.45	40.49	2.38	16.63	32.74	3.60	16.69	30.65	3.69	16.80	25.37	3.46	16.95	21.66	2.53	16.98	27.98	2.21	17.09	23.35	1.83	17.06	29.66
25315329	1.88	16.25	10.39	2.36	16.46	9.80	2.26	16.58	8.82	2.04	16.69	8.99	1.86	16.84	9.22	1.76	16.95	9.58	2.08	17.05	9.36	2.20	17.06	10.18
25324831	2.16	15.28	11.92	2.05	15.45	11.73	2.15	15.72	10.67	1.93	15.81	10.17	1.94	16.01	10.74	1.79	16.09	9.79	1.98	16.11	9.20	1.94	16.19	8.49
25335129	2.34	16.37	8.60	1.92	16.58	8.22	2.51	16.71	9.58	2.28	16.77	7.97	2.44	16.89	13.01	2.26	16.98	7.60	2.35	17.06	7.44	2.42	17.13	7.75
25474946	4.92	16.82	14.40	2.65	16.97	12.08	2.18	17.04	8.18	2.81	17.15	13.84	2.85	17.29	9.25	2.89	17.37	7.93	2.95	17.46	11.51	2.90	17.51	11.05
26055139	2.93	16.02	8.65	2.09	16.28	8.98	2.71	16.38	10.06	3.05	16.49	9.47	3.14	16.66	12.43	3.26	16.80	10.78	3.10	16.92	10.02	2.96	16.98	10.37
26075241	2.27	16.09	14.98	3.12	16.25	13.52	4.08	16.37	20.61	3.74	16.47	12.95	3.80	16.64	12.46	3.77	16.74	9.07	3.18	16.79	8.76	3.01	16.86	8.36
26145103	3.45	16.42	9.04	3.63	16.69	9.94	4.54	16.74	11.45	4.28	16.83	10.23	4.26	16.92	10.00	4.15	17.01	8.89	3.25	17.02	9.86	2.64	17.02	10.29
26285158	5.31	15.81	11.58	3.76	16.12	25.31	3.01	16.31	17.76	2.56	16.41	14.07	2.47	16.57	17.17	2.34	16.68	21.83	2.01	16.72	14.87	1.69	16.74	8.51

**Tabela F.2 – Fator de frequência K – Estações convencionais – Extensão de dados: 10 anos**

	1 dia			2 dias			3 dias			4 dias			5 dias			6 dias			7 dias			8 dias			9 dias			10 dias		
	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%
2252013	5.40	14.87	36.72	4.27	15.36	28.39	7.98	15.48	37.95	7.42	15.86	29.44	6.20	16.01	22.64	5.87	16.18	21.53	5.91	16.34	21.32	5.74	16.46	24.15	5.82	16.52	19.35	5.49	16.60	29.11
2349033	2.37	15.58	11.67	2.88	15.93	15.48	5.20	16.31	18.70	7.77	16.53	20.22	7.05	16.72	20.25	5.74	16.85	22.27	3.96	16.88	17.21	3.41	16.94	16.61	3.53	17.03	13.51	2.73	17.03	11.09
2350002	3.60	15.10	104.24	3.10	15.77	72.51	2.78	16.13	28.21	2.64	16.40	19.53	2.60	16.62	14.99	2.39	16.77	18.73	2.36	16.85	17.33	2.72	16.96	25.89	2.85	17.06	23.73	2.82	17.14	16.69
2350015	7.14	14.21	14.81	7.16	15.23	18.12	7.30	15.63	16.09	6.09	15.90	16.53	5.09	16.06	19.39	4.83	16.25	18.47	4.59	16.43	15.83	5.30	16.56	15.69	4.94	16.65	16.24	5.02	16.74	14.82
2350017	1.66	16.06	8.94	2.65	16.41	9.75	1.65	16.67	9.97	2.16	16.75	12.43	1.91	16.90	12.33	1.79	16.93	11.65	1.52	17.00	10.41	1.49	17.10	10.16	1.50	17.18	10.48	1.52	17.24	11.73
2351053	5.73	14.98	134.38	7.63	15.46	27.40	5.54	15.56	15.26	4.72	15.93	14.08	3.07	16.08	12.80	2.78	16.26	9.70	2.69	16.45	9.15	2.47	16.54	10.03	2.43	16.64	9.09	2.35	16.75	9.25
2352000	2.71	15.41	28.16	3.28	15.96	23.54	2.27	16.14	11.95	2.02	16.46	12.33	1.83	16.54	11.17	2.23	16.65	10.14	2.76	16.68	9.60	2.07	16.70	9.25	1.86	16.79	10.46	1.65	16.86	9.99
2352029	1.70	15.62	7.73	2.68	16.35	8.48	1.17	16.55	8.34	3.57	16.71	11.92	2.94	16.80	15.89	2.13	16.84	8.62	1.94	16.89	8.46	1.52	16.93	9.90	2.42	16.97	16.43	2.75	16.99	9.69
2353001	2.13	15.56	9.51	3.78	16.05	17.58	2.83	16.47	12.40	2.39	16.73	10.80	2.45	16.86	11.37	2.28	17.02	11.33	2.04	17.11	11.33	3.04	17.06	9.95	3.49	17.11	10.07	3.18	17.14	10.78
2353027	8.18	15.53	26.16	4.33	16.08	27.79	8.55	16.41	50.84	10.75	16.67	65.92	4.26	16.81	60.51	6.00	16.83	39.62	6.19	16.96	37.85	6.53	16.93	25.44	7.19	16.95	21.47	5.38	16.98	15.55
2449000	2.43	15.96	8.95	1.78	16.57	8.93	2.46	16.94	8.50	2.15	17.13	7.33	2.70	17.27	10.85	2.44	17.36	8.46	3.49	17.35	12.48	2.89	17.38	9.84	2.74	17.44	8.59	2.87	17.46	15.88
2449006	7.62	15.91	20.36	3.44	16.44	12.76	2.85	16.80	22.53	2.76	17.03	18.45	2.81	17.11	25.34	2.83	17.19	11.36	2.31	17.27	10.91	2.40	17.37	11.49	1.99	17.41	6.33	1.74	17.45	10.81
2449007	2.66	15.77	10.61	2.03	16.28	11.98	2.51	16.71	10.16	2.28	16.87	10.28	1.69	16.97	8.37	1.18	17.03	7.79	2.09	17.12	9.94	2.01	17.19	9.71	1.86	17.30	10.20	1.49	17.33	8.54
2449008	3.10	15.90	19.64	2.73	16.41	11.18	2.46	16.69	9.36	2.07	16.90	9.43	2.69	17.03	9.49	2.25	17.10	15.81	2.09	17.18	11.33	1.89	17.26	11.87	1.72	17.31	9.52	2.07	17.33	7.64
2449019	2.43	16.60	13.23	3.57	17.08	12.39	2.87	17.31	12.69	2.68	17.47	13.45	2.94	17.56	14.44	3.27	17.68	13.72	2.56	17.75	12.37	2.10	17.73	12.49	2.03	17.77	12.46	1.97	17.79	13.13
2450002	1.92	15.14	15.69	2.38	15.89	11.05	2.03	16.33	10.04	2.27	16.53	8.72	2.19	16.71	18.28	1.50	16.79	28.59	1.61	16.93	10.10	1.69	16.98	6.74	1.14	17.03	7.10	1.73	17.11	6.64
2451003	2.49	15.55	9.09	3.21	16.02	12.26	3.21	16.39	10.14	3.12	16.70	13.38	2.23	16.80	9.27	2.72	16.94	8.47	2.40	17.08	7.67	2.36	17.20	7.42	1.74	17.25	8.07	1.57	17.33	7.70
2451014	1.98	14.97	15.73	3.77	15.67	21.63	3.95	16.12	56.92	2.68	16.36	24.99	2.50	16.53	16.65	1.88	16.65	11.51	2.07	16.76	22.49	1.45	16.81	28.59	1.64	16.86	69.54	1.89	16.92	47.59
2452016	2.49	14.90	9.92	3.37	15.64	11.74	1.84	16.03	10.31	1.66	16.25	9.81	2.20	16.38	9.78	2.34	16.55	7.91	4.23	16.70	10.95	4.14	16.86	9.37	3.09	16.85	9.34	4.08	16.92	14.94
2453011	2.28	14.74	11.22	1.39	15.49	10.19	1.92	15.97	9.97	1.58	16.21	10.32	1.57	16.35	10.91	1.48	16.56	9.99	1.94	16.65	19.33	2.15	16.61	10.24	1.98	16.65	14.11	2.37	16.72	16.45
2454000	1.91	15.44	8.24	1.29	16.24	8.83	1.38	16.60	8.86	2.12	16.72	8.44	2.29	16.94	8.04	2.25	17.12	7.69	1.51	17.16	8.82	1.30	17.23	6.98	2.06	17.31	7.53	1.78	17.38	8.41
2454001	5.14	15.65	29.92	2.31	15.80	14.40	1.72	16.10	9.39	3.03	16.38	31.07	2.50	16.55	44.35	2.24	16.69	20.00	1.85	16.69	9.32	2.30	16.81	9.70	2.28	16.88	9.80	2.43	16.95	9.90
2548000	5.96	13.54	21.48	7.60	14.45	21.74	6.70	15.02	23.71	6.57	15.46	24.39	6.45	15.75	33.62	6.44	15.95	36.06	6.65	16.10	31.08	6.62	16.24	29.13	6.34	16.37	28.44	6.86	16.44	24.28
2548001	2.25	15.79	11.86	2.47	16.54	11.66	2.08	16.89	10.86	1.64	17.05	11.39	1.72	17.14	12.10	1.78	17.24	11.09	1.54	17.28	10.86	1.53	17.31	10.52	1.56	17.36	10.66	1.56	17.40	9.87
2548003	1.46	14.57	9.05	2.30	15.25	11.16	2.26	15.75	10.95	2.34	15.96	25.89	2.80	16.13	13.23	2.64	16.08	9.66	2.77	16.16	9.15	2.12	16.20	8.84	1.90	16.23	9.97	1.54	16.24	9.12
2548041	4.69	15.53	16.12	4.39	16.15	15.84	4.56	16.59	20.87	2.88	16.75	11.18	3.34	16.82	89.72	3.49	16.94	86.93	3.71	16.98	184.53	4.00	17.08	68.40	3.59	17.18	47.95	3.52	17.24	43.17
2549001	1.87	15.59	9.70	2.17	16.31	11.81	2.64	16.75	11.37	1.84	16.78	14.22	2.08	16.91	12.52	1.96	17.05	11.40	2.07	17.18	11.28	2.30	17.29	9.56	2.40	17.39	9.46	2.87	17.44	11.20
2549003	4.74	15.89	10.98	3.05	16.34	10.21	4.04	16.79	12.77	2.65	16.91	11.40	2.67	17.09	11.39	2.54	17.14	9.14	1.80	17.22	8.36	1.93	17.27	9.83	1.61	17.36	9.29	1.50	17.45	8.65
2549004	1.81	15.67	10.27	2.17	16.36	8.91	1.86	16.81	9.40	5.15	16.94	10.95	4.02	17.07	9.66	3.47	17.22	10.23	2.72	17.33	11.57	2.32	17.43	10.55	2.10	17.52	9.26	2.03	17.59	9.07
2549006	1.45	15.78	12.05	2.09	16.33	11.12	2.21	16.79	10.80	2.32	17.05	12.14	2.10	17.20	11.43	1.71	17.27	9.37	1.43	17.32	10.65	1.50	17.41	10.09	2.25	17.50	8.82	2.58	17.53	8.85
2550000	1.61	14.98	9.35	2.23	15.89	9.83	2.01	16.32	10.06	3.23	16.47	18.67	3.63	16.60	13.38	3.33	16.71	10.99	2.96	16.86	9.50	3.28	16.97	12.12	2.40	17.04	13.54	2.42	17.12	9.95
2550003	4.89	15.77	11.13	5.29	16.27	19.75	6.12	16.59	23.50	5.95	16.82	30.20	5.59	16.99	22.95	4.55	16.99	10.57	3.65	17.13	11.09	3.83	17.23	15.29	4.55	17.29	23.17	4.49	17.38	19.69
2550005	2.58	15.87	10.20	1.																										

**Tabela F.3 – Fator de frequência K – Estações convencionais – Extensão de dados: 20 anos**

	1 dia			2 dias			3 dias			4 dias			5 dias			6 dias			7 dias			8 dias			9 dias			10 dias		
	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%
2252013	6.23	15.20	15.81	4.78	15.69	18.75	8.80	15.89	23.00	8.32	16.17	18.51	7.75	16.31	16.57	7.52	16.43	13.87	7.55	16.56	13.22	7.09	16.67	13.52	7.20	16.71	12.75	6.85	16.79	14.36
2349033	2.76	15.52	14.12	2.59	15.87	14.75	2.69	16.19	18.10	3.32	16.36	12.27	3.64	16.55	28.06	3.52	16.66	15.56	3.65	16.74	19.69	3.55	16.80	16.42	3.70	16.85	15.06	3.37	16.88	15.28
2350002	4.78	15.47	44.13	3.87	15.99	47.43	3.40	16.29	15.66	3.36	16.52	11.63	2.92	16.66	9.47	2.79	16.79	8.38	2.75	16.87	9.72	2.92	16.99	14.80	2.67	17.07	14.00	2.54	17.11	12.54
2350015	7.01	14.54	17.11	5.18	15.39	18.40	4.31	15.80	16.91	3.92	16.03	16.24	3.68	16.20	14.35	3.53	16.38	13.66	3.43	16.52	12.92	3.73	16.63	12.63	3.62	16.72	13.03	3.61	16.76	12.13
2350017	2.45	15.80	8.49	2.19	16.34	7.55	3.14	16.56	7.91	2.87	16.58	8.94	2.44	16.67	9.85	2.99	16.72	9.35	3.38	16.81	10.62	3.40	16.87	11.46	3.79	16.95	10.95	3.71	16.97	9.38
2351053	6.54	15.19	47.37	6.22	15.58	19.46	4.78	15.85	10.68	4.35	16.17	9.50	3.12	16.32	9.27	3.13	16.44	8.68	3.05	16.61	8.28	2.78	16.69	10.02	2.66	16.77	7.90	2.47	16.85	8.82
2352000	2.58	15.56	19.37	2.96	16.00	12.02	2.21	16.28	8.44	1.92	16.58	9.17	1.81	16.72	9.41	2.18	16.86	9.59	2.56	16.91	9.45	2.17	16.95	9.93	2.02	17.04	9.71	1.96	17.09	8.68
2352029	2.36	15.39	7.76	2.50	16.14	7.49	4.76	16.40	7.23	4.51	16.60	13.38	4.39	16.71	12.36	4.03	16.75	10.25	3.70	16.82	8.15	3.17	16.88	7.28	2.78	16.93	6.73	2.25	16.95	7.07
2353001	2.44	15.48	8.88	3.19	16.05	12.91	2.66	16.36	7.38	2.88	16.57	7.39	3.38	16.77	7.34	3.26	16.96	7.51	2.84	17.08	7.33	2.79	17.08	7.34	2.75	17.12	7.61	2.77	17.17	7.97
2353027	3.99	15.36	17.76	3.09	16.07	13.13	3.46	16.38	15.70	3.31	16.63	14.33	3.04	16.83	10.71	4.38	16.87	14.31	3.97	16.97	13.59	4.74	17.01	15.46	5.50	17.04	19.35	5.00	17.09	15.89
2449000	2.06	15.80	8.42	3.84	16.47	9.08	3.80	16.79	9.16	4.31	16.94	9.31	6.10	17.04	10.50	6.58	17.15	10.35	6.23	17.21	10.89	5.64	17.25	9.76	5.00	17.31	9.95	4.30	17.36	9.25
2449006	7.46	16.18	16.33	3.54	16.53	10.10	2.89	16.80	13.57	2.44	16.98	10.87	2.90	17.07	27.61	4.12	17.15	23.34	4.85	17.23	31.79	4.69	17.27	24.73	4.27	17.29	11.67	3.71	17.32	12.78
2449007	2.67	15.70	8.53	2.05	16.20	8.39	2.77	16.53	8.17	3.97	16.68	13.01	4.56	16.80	11.72	3.52	16.89	9.71	3.80	16.99	10.29	5.11	17.03	10.85	4.55	17.04	9.52	5.40	17.08	11.29
2449008	2.98	15.97	15.91	2.48	16.38	8.59	3.08	16.60	8.04	2.68	16.82	10.38	2.68	16.95	8.37	4.20	17.02	19.89	6.68	17.07	20.33	6.06	17.16	22.99	5.24	17.21	28.70	4.83	17.25	36.19
2449019	2.22	16.58	11.28	2.60	16.74	11.04	3.32	16.88	10.77	2.72	16.96	11.06	2.09	17.03	11.36	1.88	17.13	10.92	2.14	17.21	11.22	2.10	17.19	11.34	2.38	17.19	11.69	2.86	17.20	11.62
2450002	2.75	15.45	12.61	2.59	16.05	8.62	2.46	16.44	7.58	2.24	16.66	8.70	1.96	16.82	9.43	1.77	16.93	9.71	1.60	17.02	8.02	1.76	17.07	7.01	1.60	17.10	7.32	1.56	17.15	7.34
2451003	2.59	15.77	8.17	3.71	16.09	10.50	3.26	16.40	7.11	3.16	16.66	7.50	2.35	16.79	7.35	2.43	16.92	6.74	2.38	17.06	6.12	1.96	17.15	6.35	1.97	17.18	6.75	2.38	17.22	7.12
2451014	2.19	15.20	12.67	3.21	15.83	18.64	2.90	16.25	18.08	2.13	16.44	14.01	2.72	16.57	16.75	3.26	16.68	16.56	2.82	16.77	25.05	2.39	16.86	34.92	2.15	16.88	11.50	2.43	16.94	9.82
2452016	2.86	15.08	7.45	2.87	15.62	7.18	1.76	15.99	7.07	2.42	16.19	7.63	2.39	16.34	10.75	2.33	16.46	8.53	2.12	16.62	8.65	2.50	16.73	11.70	2.92	16.74	9.38	2.37	16.78	8.36
2453011	2.72	15.01	11.05	1.47	15.63	8.49	2.96	15.98	9.75	1.96	16.18	8.08	1.89	16.35	8.28	1.98	16.55	7.77	1.81	16.63	8.16	2.10	16.67	8.01	2.00	16.72	7.83	2.27	16.75	8.41
2454000	2.52	15.48	8.05	2.94	16.05	11.23	2.37	16.41	7.29	1.95	16.64	6.80	3.04	16.81	9.87	3.27	16.98	10.32	2.97	17.07	6.89	2.70	17.14	6.71	2.07	17.20	6.73	1.60	17.21	7.00
2454001	3.34	15.65	13.55	1.88	15.91	8.04	1.68	16.31	7.05	2.68	16.62	7.87	2.67	16.77	7.89	2.53	16.85	7.68	2.12	16.87	7.81	2.77	16.97	7.03	2.86	17.04	7.27	3.04	17.07	7.25
2548000	7.82	14.45	17.32	9.45	15.04	18.01	8.93	15.42	15.47	8.66	15.76	15.55	7.56	15.93	17.56	6.84	16.06	18.59	6.40	16.17	16.72	6.14	16.26	17.07	5.67	16.36	18.16	5.57	16.40	16.95
2548001	3.09	16.09	9.72	3.09	16.55	8.69	4.05	16.82	19.44	3.56	16.91	19.64	3.41	17.02	15.59	4.79	17.08	17.31	4.68	17.14	13.79	4.34	17.15	18.76	4.02	17.20	25.73	3.93	17.26	26.85
2548003	1.97	14.68	7.98	2.28	15.34	9.13	2.44	15.70	7.96	3.16	15.81	14.99	2.47	15.94	11.28	3.13	15.92	7.86	2.98	16.01	9.38	3.28	15.98	8.54	3.08	16.05	6.94	3.24	16.10	7.27
2548041	3.10	15.48	17.11	2.90	16.10	26.58	3.34	16.47	23.35	3.09	16.62	15.01	2.53	16.71	14.87	2.59	16.80	12.97	2.91	16.85	14.68	3.36	16.91	14.44	4.33	16.99	14.89	3.85	17.05	16.66
2549001	2.44	15.73	7.75	2.90	16.42	7.90	3.39	16.80	8.08	2.27	16.81	8.89	2.43	16.97	8.48	2.39	17.06	8.06	2.33	17.17	7.89	2.59	17.26	7.97	2.54	17.31	7.87	2.62	17.34	8.64
2549003	4.65	16.10	10.52	2.71	16.44	7.38	3.97	16.85	8.77	3.15	17.03	7.85	2.48	17.16	7.58	2.30	17.20	7.44	2.57	17.26	8.27	2.14	17.33	7.84	2.48	17.40	7.50	3.18	17.40	7.48
2549004	2.48	15.85	8.44	5.06	16.35	13.08	4.07	16.76	10.30	3.45	16.91	10.84	5.03	16.98	9.97	6.75	17.07	12.52	8.09	17.13	13.92	7.18	17.22	22.27	7.04	17.28	26.43	6.65	17.35	25.22
2549006	2.64	15.69	10.05	3.05	16.22	10.04	2.61	16.66	9.33	3.43	16.81	12.94	4.21	16.91	11.56	4.21	16.97	12.13	4.72	17.02	15.69	4.82	17.03	12.47	4.43	17.11	14.66	4.07	17.16	17.13
2550000	3.61	15.01	10.97	6.78	15.68	20.01	6.77	16.08	15.17	5.13	16.28	25.32	5.96	16.46	22.44	5.82	16.57	19.33	6.01	16.71	17.40	6.47	16.83	13.77	5.68	16.86	13.92	5.74	16.88	14.75
2550003	4.55	15.62	16.50	5.43	16.13	26.25	4.33	16.45	20.40	4.53	16.68	24.68	4.35	16.87	19.88	3.91	16.93	10.16	3.49	17.03	13.26	3.81	17.10	24.32	3.87	17.15	19.47	4.16	17.22	22.99
2550005	3.12	15.91	8.56	1.80	16.34	7.82	1.52	16.67	7																					

**Tabela F.4 – Fator de frequência K – Estações convencionais – Extensão de dados: 30 anos**

	1 dia			2 dias			3 dias			4 dias			5 dias			6 dias			7 dias			8 dias			9 dias			10 dias		
	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%
2252013	5.76	15.41	11.72	5.30	15.91	8.61	9.72	16.15	9.55	9.16	16.41	8.12	8.60	16.52	8.05	8.25	16.62	7.89	7.97	16.74	7.71	7.07	16.79	9.59	6.77	16.82	8.47	6.38	16.87	10.12
2349033	3.36	15.64	8.86	3.26	16.04	7.54	3.20	16.32	10.97	3.67	16.49	9.17	4.00	16.67	17.19	3.88	16.78	10.70	4.05	16.86	13.18	3.99	16.91	9.85	4.18	16.97	12.62	3.77	17.00	8.71
2350002	5.01	15.69	16.26	4.44	16.16	14.87	3.90	16.42	10.53	3.76	16.65	7.54	3.41	16.78	7.34	3.25	16.91	7.48	3.02	16.98	7.80	3.18	17.08	8.28	2.94	17.14	8.30	2.70	17.13	6.94
2350015	8.14	14.98	11.06	6.17	15.66	11.49	5.22	15.99	10.65	4.73	16.24	10.04	4.46	16.41	10.75	4.30	16.56	10.11	4.06	16.66	10.01	4.37	16.76	9.36	4.09	16.83	9.77	3.97	16.84	10.07
2350017	2.66	15.84	6.60	2.26	16.29	6.43	3.04	16.56	7.21	3.22	16.64	8.03	2.92	16.76	7.83	3.52	16.83	7.57	3.99	16.91	9.34	3.98	16.96	7.79	4.19	17.02	7.78	3.88	17.01	13.03
2351053	6.49	15.42	18.83	6.45	15.77	14.20	4.87	16.05	8.18	4.59	16.32	7.71	3.41	16.48	6.89	3.26	16.61	6.53	3.16	16.75	6.76	2.80	16.80	6.68	2.50	16.85	6.96	2.15	16.90	6.64
2352000	3.09	15.76	11.78	3.59	16.20	7.90	2.73	16.47	6.99	2.34	16.70	7.74	2.23	16.87	7.61	2.52	16.95	7.55	2.91	17.02	7.18	2.52	17.08	6.93	2.38	17.14	7.09	2.20	17.18	6.71
2352029	2.29	15.49	6.55	2.19	16.00	6.10	3.12	16.32	6.48	2.90	16.50	6.57	3.37	16.64	7.31	3.24	16.73	7.09	3.01	16.78	7.05	2.60	16.84	6.37	2.39	16.89	6.37	2.09	16.92	5.75
2353001	2.72	15.64	21.64	3.30	16.23	16.27	2.60	16.56	12.76	3.08	16.73	21.71	3.60	16.91	13.94	3.43	17.09	13.85	2.92	17.19	14.97	2.85	17.20	12.24	2.83	17.23	17.63	2.82	17.30	15.26
2353027	3.91	15.38	12.43	3.31	16.16	6.94	3.56	16.39	8.80	3.27	16.62	8.31	2.92	16.81	11.98	4.14	16.87	10.62	3.87	16.98	7.75	4.86	17.02	10.71	5.44	17.07	9.63	4.99	17.11	8.22
2449000	2.47	16.02	6.76	4.66	16.60	9.68	4.49	16.90	6.64	4.93	17.05	7.56	7.07	17.15	8.19	7.20	17.27	8.35	7.11	17.30	8.26	6.52	17.35	8.62	5.74	17.40	7.90	5.07	17.44	7.21
2449006	5.22	16.20	10.43	2.89	16.58	9.19	2.63	16.88	7.93	2.24	17.04	7.65	2.93	17.14	9.73	3.44	17.21	11.56	3.37	17.28	10.16	3.43	17.33	10.92	3.17	17.34	9.46	2.79	17.35	8.41
2449007	2.58	15.81	7.16	2.00	16.35	7.22	2.54	16.65	7.91	3.43	16.80	7.26	4.09	16.91	9.31	3.27	17.00	8.75	3.41	17.08	8.99	4.50	17.12	9.49	4.28	17.14	8.35	4.96	17.17	9.36
2449008	2.69	16.00	9.90	2.36	16.46	7.58	2.91	16.73	7.40	2.43	16.93	8.59	2.42	17.06	8.00	3.61	17.12	10.64	5.50	17.18	12.38	5.27	17.26	11.22	4.74	17.30	10.27	4.15	17.32	8.15
2449019	3.41	16.32	6.36	4.09	16.45	12.39	4.03	16.66	9.19	3.38	16.78	6.60	3.25	16.85	5.68	3.20	16.98	5.54	3.35	17.06	5.74	3.04	17.08	5.81	2.80	17.12	6.13	2.43	17.13	6.01
2450002	3.17	15.61	7.05	2.89	16.14	6.94	2.67	16.51	6.66	2.24	16.71	7.22	1.99	16.87	7.30	1.87	16.97	7.18	1.62	17.04	6.97	1.66	17.08	6.27	1.47	17.13	6.54	1.87	17.15	6.99
2451003	3.60	15.68	8.12	3.74	16.08	6.87	3.31	16.39	6.49	3.03	16.61	6.09	2.33	16.71	6.86	3.40	16.85	8.99	3.74	16.96	7.60	3.68	17.05	6.06	3.49	17.08	7.25	3.92	17.12	7.04
2451014	2.63	15.41	7.60	3.46	15.91	18.64	3.15	16.31	27.04	2.16	16.44	14.83	2.77	16.58	19.41	3.42	16.71	12.69	2.81	16.80	10.05	2.40	16.88	9.08	2.11	16.89	6.35	2.26	16.95	6.89
2452016	2.80	15.07	6.22	2.67	15.56	7.26	3.13	15.92	6.72	3.00	16.10	9.52	2.51	16.26	6.67	2.07	16.37	6.15	2.03	16.53	6.26	2.09	16.64	6.10	2.75	16.65	6.35	3.45	16.71	6.48
2453011	2.92	15.20	7.21	1.75	15.78	6.89	3.23	16.11	6.48	2.25	16.31	7.04	2.20	16.46	6.58	2.40	16.63	6.53	2.22	16.69	7.01	2.48	16.74	6.46	2.38	16.79	6.40	2.77	16.83	6.74
2454000	2.51	15.54	7.79	2.78	16.03	6.55	2.48	16.39	6.24	1.74	16.61	6.20	2.57	16.76	6.35	2.42	16.90	6.92	3.28	16.98	7.42	3.04	17.05	6.37	3.31	17.12	6.45	3.05	17.14	5.92
2454001	2.85	15.60	7.86	1.70	15.97	7.37	2.33	16.29	7.40	2.32	16.58	7.28	2.60	16.74	7.26	2.60	16.82	7.69	2.23	16.86	7.16	2.75	16.93	7.20	2.84	16.98	7.25	2.85	17.04	7.20
2548000	8.74	14.76	9.10	9.81	15.23	9.24	9.05	15.56	8.52	8.79	15.85	8.34	7.20	15.96	11.49	6.40	16.09	12.64	5.66	16.19	15.04	5.31	16.27	14.90	5.18	16.35	12.97	4.46	16.36	13.32
2548001	3.25	16.06	7.62	3.06	16.52	6.91	3.84	16.77	15.23	3.84	16.92	11.75	3.78	17.04	9.95	5.26	17.12	14.46	4.86	17.15	13.10	4.63	17.18	9.18	4.37	17.22	11.80	4.34	17.28	11.51
2548003	2.37	14.90	6.23	2.64	15.54	6.76	2.78	15.83	6.66	3.24	15.95	12.01	2.76	16.05	9.91	3.43	16.08	6.96	3.25	16.18	8.86	3.51	16.17	7.46	3.23	16.18	6.75	3.38	16.22	6.66
2548041	2.45	15.27	7.27	2.42	15.84	7.17	3.09	16.08	6.89	3.97	16.29	7.41	4.22	16.42	7.89	4.50	16.51	7.42	4.66	16.56	8.16	4.68	16.64	8.56	4.21	16.72	7.14	4.62	16.77	7.20
2549001	2.35	15.78	6.82	2.81	16.45	6.88	4.73	16.65	10.06	3.25	16.76	8.06	3.72	16.91	8.18	3.38	17.03	7.12	3.02	17.12	7.05	2.76	17.21	7.62	3.25	17.24	6.85	3.09	17.29	7.28
2549003	3.96	16.06	7.90	2.61	16.42	8.66	3.54	16.67	11.06	3.80	16.86	8.17	3.75	16.98	9.44	3.60	17.07	7.97	4.24	17.15	6.44	4.41	17.21	6.49	3.87	17.25	7.29	3.58	17.27	6.49
2549004	2.49	16.08	6.96	4.40	16.49	7.83	3.14	16.77	6.97	3.02	16.92	7.27	4.46	16.98	9.08	6.32	17.07	10.73	7.55	17.11	9.46	6.89	17.20	9.59	6.96	17.26	9.15	6.79	17.34	9.96
2549006	2.80	15.97	7.82	3.27	16.45	6.98	2.80	16.77	7.51	3.79	16.95	7.87	4.50	17.04	8.62	4.53	17.13	8.98	4.97	17.16	10.64	4.87	17.18	8.71	4.51	17.23	7.80	4.21	17.27	7.18
2550000	3.56	15.13	9.15	6.79	15.78	12.84	6.09	16.14	11.87	5.17	16.31	23.57	5.73	16.48	14.32	5.53	16.60	12.14	5.41	16.74	9.67	5.50	16.85	8.06	4.63	16.87	7.07	4.58	16.89	7.85
2550003	4.70	15.69	11.99	5.51	16.24	16.06	4.59	16.52	11.24	4.72	16.76	11.72	4.36	16.91	9.00	3.86	16.96	8.06	3.45	17.02	7.21	3.73	17.10	6.90	3.61	17.15	6.50	3.31	17.21	6.50
2550005	3.39	15.97	7.08	6.28	16.21	8.65	6.25	16.46	11.00	5.85	16.59	9.65	5.64	16.68	10.12	5.00	16.76	11.47	4.34											

**Tabela F.5 – Fator de frequência K – Estações convencionais – Extensão de dados: 40 anos**

	1 dia			2 dias			3 dias			4 dias			5 dias			6 dias			7 dias			8 dias			9 dias			10 dias		
	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%
2252013																														
2349033	3.84	15.73	8.96	3.68	16.12	7.45	3.67	16.39	9.49	4.24	16.57	7.36	4.47	16.73	10.30	4.27	16.85	9.15	4.35	16.93	9.81	4.26	16.98	8.75	4.48	17.04	9.71	4.17	17.05	9.59
2350002	5.47	15.77	14.52	4.79	16.22	10.80	4.15	16.49	8.80	3.98	16.71	7.07	3.53	16.83	6.83	3.36	16.96	6.33	3.19	17.04	6.47	3.36	17.15	8.05	3.11	17.17	8.18	2.95	17.17	7.15
2350015	8.81	15.28	9.19	6.93	15.83	9.73	5.91	16.12	9.51	5.34	16.35	8.86	5.07	16.51	8.80	4.91	16.65	8.56	4.63	16.74	8.69	4.92	16.83	8.27	4.57	16.89	8.59	4.45	16.91	8.86
2350017	3.58	15.81	8.10	5.63	16.23	8.36	4.56	16.53	8.74	3.17	16.65	7.22	2.89	16.79	7.63	3.49	16.87	7.04	3.92	16.96	8.20	3.86	17.01	8.62	3.87	17.04	8.10	3.62	17.05	9.85
2351053																														
2352000	3.15	15.83	12.48	3.54	16.26	8.96	2.72	16.54	6.69	2.38	16.77	7.05	2.34	16.92	6.67	2.64	17.01	7.39	3.03	17.07	6.85	2.72	17.14	6.58	2.57	17.18	6.38	2.41	17.23	6.62
2352029																														
2353001	2.71	15.66	13.63	3.26	16.21	18.14	2.37	16.55	12.80	2.67	16.71	10.04	2.93	16.91	9.91	2.75	17.05	9.79	2.51	17.17	11.41	2.82	17.19	10.81	2.90	17.23	10.78	2.89	17.30	10.13
2353027																														
2449000	2.61	16.13	6.69	4.56	16.70	10.26	4.37	16.98	6.69	5.08	17.14	6.40	7.06	17.26	7.07	6.96	17.35	7.62	6.96	17.40	7.37	6.39	17.44	7.05	5.65	17.50	7.02	5.11	17.53	6.82
2449006	4.79	16.30	8.11	3.01	16.66	8.67	2.88	16.97	9.35	2.51	17.13	8.69	3.17	17.25	10.85	3.72	17.32	7.99	3.68	17.40	10.25	3.68	17.46	8.95	3.34	17.48	8.66	3.00	17.49	9.55
2449007	2.81	15.91	6.52	2.18	16.42	6.53	2.82	16.72	6.17	3.75	16.90	8.92	4.45	17.02	9.27	3.63	17.11	6.82	3.80	17.20	6.71	4.85	17.25	6.92	4.55	17.27	6.27	5.32	17.29	7.48
2449008	2.96	16.07	8.31	2.63	16.53	7.33	3.19	16.81	6.40	2.68	17.01	6.35	2.64	17.14	7.84	3.84	17.21	10.03	5.80	17.27	12.85	5.64	17.33	9.60	5.01	17.36	8.28	4.40	17.40	8.04
2449019	3.21	16.25	7.13	4.36	16.47	12.53	4.38	16.71	10.01	3.78	16.85	8.05	3.63	16.92	7.62	3.55	17.04	7.18	3.71	17.13	7.48	3.39	17.16	7.64	3.16	17.21	7.56	2.77	17.23	7.48
2450002	3.47	15.71	7.11	2.99	16.18	7.19	2.79	16.54	6.32	2.45	16.71	6.47	2.51	16.86	8.59	2.25	16.96	6.46	1.95	17.04	6.73	1.71	17.08	6.77	1.74	17.12	6.50	1.92	17.14	6.39
2451003	3.90	15.78	8.56	3.89	16.16	8.22	3.21	16.43	6.43	2.98	16.64	6.09	2.30	16.73	6.60	3.34	16.86	7.56	3.92	16.96	8.56	3.77	17.05	6.76	3.66	17.09	8.16	4.15	17.13	9.06
2451014	2.71	15.37	9.13	3.51	15.93	14.55	3.04	16.28	15.20	2.30	16.42	13.03	2.72	16.57	13.52	3.33	16.68	12.25	3.26	16.78	11.38	2.85	16.85	9.80	2.58	16.89	7.46	2.39	16.95	6.48
2452016	3.76	15.04	7.71	2.36	15.55	6.63	3.01	15.94	6.51	3.15	16.16	6.82	2.58	16.32	7.74	2.08	16.41	6.67	1.94	16.55	6.69	2.37	16.62	6.48	2.51	16.64	6.61	2.88	16.69	6.29
2453011																														
2454000	7.48	15.46	8.93	5.18	16.01	12.95	4.64	16.42	7.99	5.22	16.61	7.24	4.35	16.78	9.49	4.45	16.92	11.41	3.78	17.00	8.83	4.65	17.06	9.49	5.65	17.11	10.20	5.15	17.14	8.84
2454001	3.12	15.78	7.17	1.88	16.14	7.17	2.54	16.43	6.75	2.59	16.67	7.00	2.80	16.84	6.82	2.70	16.92	6.88	2.29	16.96	6.92	2.72	17.03	6.89	2.79	17.08	6.96	2.82	17.14	6.87
2548000	9.19	14.97	8.72	9.77	15.43	8.01	8.92	15.71	8.03	8.37	15.98	7.72	6.88	16.08	11.11	6.03	16.17	12.47	5.49	16.26	11.98	5.35	16.32	11.37	5.27	16.39	10.62	4.46	16.39	9.21
2548001	4.44	16.08	7.80	6.77	16.52	13.32	6.70	16.78	15.08	5.20	16.95	16.87	4.85	17.07	12.67	5.34	17.12	16.27	4.97	17.15	13.14	4.92	17.18	10.19	4.65	17.22	10.71	4.67	17.28	10.46
2548003	2.34	15.10	6.54	2.85	15.68	6.76	3.02	15.97	5.82	3.54	16.06	8.40	2.91	16.13	7.00	3.57	16.17	5.74	3.43	16.26	6.19	3.66	16.27	6.16	3.34	16.29	5.86	3.46	16.34	7.56
2548041	2.61	15.43	12.92	2.51	15.90	8.14	2.95	16.12	7.80	3.80	16.32	7.50	4.00	16.44	7.32	4.34	16.53	7.96	4.59	16.59	8.44	4.66	16.66	9.16	4.34	16.74	8.31	4.78	16.79	8.31
2549001	2.61	15.88	6.62	3.04	16.48	7.18	4.92	16.71	10.45	3.51	16.83	7.07	3.97	16.99	7.74	3.39	17.10	7.04	3.15	17.19	6.92	2.85	17.28	7.33	3.40	17.31	6.95	3.18	17.35	6.72
2549003	3.89	16.07	9.28	2.51	16.43	7.84	3.58	16.70	7.42	3.79	16.89	7.30	3.78	17.04	7.67	3.52	17.11	7.66	4.36	17.17	9.02	4.66	17.24	8.78	4.16	17.30	7.78	3.73	17.31	8.04
2549004	2.63	16.20	7.11	4.27	16.55	8.62	3.08	16.80	7.37	3.42	16.95	8.44	4.05	17.04	11.05	5.48	17.13	12.88	6.77	17.17	11.30	6.52	17.25	9.89	6.70	17.32	13.41	6.19	17.39	10.88
2549006	2.91	16.01	7.85	3.41	16.48	7.22	2.90	16.78	7.69	3.92	16.97	7.54	4.72	17.09	8.28	4.69	17.17	8.64	5.33	17.20	9.76	5.22	17.25	7.98	4.83	17.29	7.86	4.48	17.32	7.98
2550000	3.74	15.36	8.13	7.11	15.93	11.15	6.34	16.25	9.57	5.61	16.43	10.02	6.21	16.59	10.57	6.00	16.70	11.08	5.95	16.82	10.57	5.98	16.93	10.39	5.18	16.96	8.50	5.03	16.98	8.53
2550003	5.06	15.74	12.47	5.74	16.29	15.43	4.85	16.58	12.37	5.16	16.80	10.22	4.80	16.95	11.16	4.23	17.00	8.58	3.81	17.08	8.60	4.10	17.15	12.13	3.92	17.19	8.12	3.60	17.23	6.98
2550005	3.01	16.00	7.91	5.28	16.26	11.51	5.65	16.56	12.46	5.62	16.66	10.26	5.70	16.77	9.35	5.14	16.85	9.24	4.57	16.93	8.30	4.55	17.03	10.39	4.97	17.08	11.27	4.60	17.13	9.10
2550006	8.05	15.71	17.70	5.99	16.14	12.98	5.54	16.46	10.63	4.50	16.65	16.80	3.98	16.76	11.12	3.59	16.83	10.18	4.20	16.91	9.65	4.34	17.00	10.28	4.24	17.06	9.07	4.04	17.13	13.27
2550015	3.29	15.80	9.14	2.61	16.39	9.11	2.67	16.71	8.08	2.39	16.89	8.18	2.48	17.09	8.33	2.45	17.16	8.18	3.46	17.21	8.65	3.02	17.25	7.83	3.57	17.31	9.19	3.32	17.37	9.01
2551000	3.65	15.50	15.46	4.02	15.94	9.31	4.22	16.26	20.33	3.74																				

**Tabela F.6 – Fator de frequência K – Estações convencionais – Extensão de dados: 50 anos**

	1 dia			2 dias			3 dias			4 dias			5 dias			6 dias			7 dias			8 dias			9 dias			10 dias		
	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%
2252013																														
2349033	4.00	15.78	8.17	3.88	16.16	6.92	3.94	16.45	8.07	4.57	16.64	7.07	4.79	16.78	10.20	4.54	16.88	8.72	4.69	16.96	8.82	4.59	17.01	7.95	4.83	17.07	9.09	4.52	17.10	8.94
2350002	5.66	15.83	13.97	4.89	16.25	11.35	4.33	16.54	7.49	4.15	16.76	6.87	3.71	16.89	6.68	3.42	17.01	6.38	3.20	17.08	6.18	3.32	17.17	7.58	3.05	17.20	7.56	2.90	17.20	6.67
2350015	9.20	15.34	8.46	6.97	15.81	9.01	6.24	16.14	8.46	5.53	16.36	8.33	5.28	16.52	8.20	5.17	16.68	7.90	4.92	16.78	7.91	5.19	16.87	7.65	4.85	16.93	7.57	4.51	16.94	7.54
2350017	3.65	15.84	9.45	5.82	16.28	9.01	4.62	16.55	10.45	3.37	16.69	7.97	3.06	16.81	7.47	3.60	16.90	7.19	4.01	16.98	7.56	3.92	17.03	7.74	3.96	17.06	7.71	3.68	17.08	7.32
2351053																														
2352000	3.28	15.92	8.84	3.71	16.32	8.36	2.77	16.56	7.05	2.37	16.75	7.91	2.38	16.91	6.94	2.69	17.01	7.09	3.10	17.08	6.61	2.68	17.13	6.56	2.55	17.17	6.47	2.38	17.22	6.23
2352029	0.00																													
2353001	2.85	15.76	11.89	3.43	16.29	13.05	2.54	16.59	10.42	2.93	16.76	9.13	3.19	16.95	8.49	2.94	17.09	9.83	2.63	17.19	10.94	2.98	17.21	8.73	3.11	17.26	9.57	3.14	17.33	8.69
2353027	0.00																													
2449000	2.28	16.48	6.27	3.76	16.95	8.03	3.59	17.19	7.46	4.22	17.35	8.30	5.71	17.44	11.14	5.68	17.53	10.07	5.47	17.57	8.00	5.00	17.61	8.27	4.62	17.66	7.54	4.27	17.69	7.70
2449006	4.82	16.39	8.11	3.02	16.78	7.08	3.06	17.07	7.51	2.69	17.25	6.90	3.35	17.34	9.95	3.86	17.42	7.68	3.81	17.50	9.31	3.84	17.56	7.39	3.48	17.58	7.30	3.16	17.59	7.73
2449007	2.42	16.20	6.30	2.08	16.65	6.43	2.63	16.92	5.96	3.35	17.07	6.72	3.91	17.19	7.67	3.44	17.27	6.20	3.64	17.35	6.21	4.47	17.39	7.13	4.21	17.41	5.88	4.84	17.42	7.08
2449008	3.16	16.15	7.60	2.86	16.60	7.23	3.45	16.88	6.15	2.91	17.08	6.22	2.86	17.21	7.23	4.07	17.29	10.68	6.10	17.35	12.18	6.03	17.40	9.54	5.31	17.44	6.56	4.73	17.46	8.43
2449019	3.35	16.27	7.73	4.75	16.52	11.81	4.84	16.76	10.29	4.15	16.88	9.23	4.02	16.96	8.09	3.96	17.07	8.26	4.12	17.14	7.41	3.75	17.18	8.96	3.47	17.22	8.41	3.06	17.24	6.85
2450002	3.56	15.86	6.75	3.06	16.25	6.63	2.85	16.61	6.32	2.51	16.79	6.23	2.59	16.93	7.10	2.32	17.02	6.45	1.99	17.10	6.26	2.04	17.12	6.34	2.64	17.17	6.45	2.84	17.18	6.31
2451003	3.68	15.79	7.94	3.42	16.16	6.86	3.27	16.45	6.76	3.65	16.63	6.56	2.83	16.72	6.27	2.86	16.85	9.74	3.50	16.96	11.16	3.28	17.04	8.53	3.25	17.09	8.22	3.82	17.12	9.14
2451014	2.93	15.47	7.71	3.62	16.00	12.57	3.13	16.35	12.91	2.46	16.47	6.98	2.81	16.62	6.41	3.48	16.72	7.87	3.30	16.81	6.96	2.88	16.88	7.32	2.55	16.92	6.53	2.36	16.98	6.32
2452016	0.00																													
2453011	0.00																													
2454000	5.91	15.33	8.15	4.87	15.97	11.23	4.26	16.37	7.01	5.22	16.60	7.51	4.50	16.77	10.21	4.34	16.91	11.35	3.46	16.98	8.45	4.37	17.06	8.44	5.06	17.10	9.97	4.64	17.14	10.02
2454001	2.93	15.68	7.41	1.92	16.11	7.08	2.40	16.41	7.14	2.51	16.65	6.80	2.81	16.82	6.46	2.76	16.91	6.90	2.38	16.97	6.30	2.85	17.04	6.76	3.02	17.09	6.98	2.97	17.15	6.63
2548000	9.56	15.18	7.53	9.94	15.57	7.42	8.98	15.84	7.47	8.60	16.07	7.13	7.18	16.16	10.16	6.27	16.26	12.05	5.77	16.36	9.97	5.54	16.42	9.92	5.47	16.49	9.29	4.72	16.50	9.23
2548001	4.39	16.09	7.50	6.64	16.53	10.89	6.75	16.79	15.15	5.37	16.99	11.05	5.07	17.11	9.94	5.62	17.17	10.23	5.23	17.20	9.71	5.14	17.23	13.47	4.82	17.26	13.38	4.85	17.32	12.86
2548003	2.32	15.14	6.09	2.93	15.68	6.33	3.08	15.96	5.83	3.77	16.09	9.10	3.14	16.15	6.72	3.88	16.19	5.93	3.67	16.28	5.98	3.91	16.29	6.19	3.54	16.32	5.85	3.64	16.36	6.15
2548041	2.93	15.54	11.11	2.84	16.01	9.93	3.29	16.21	7.95	4.22	16.42	9.18	4.43	16.54	8.06	4.80	16.61	9.07	5.07	16.67	11.36	5.19	16.73	11.36	4.81	16.81	10.50	5.25	16.85	10.27
2549001	2.64	15.97	6.53	2.90	16.53	6.98	5.03	16.75	7.35	3.72	16.87	6.68	4.15	17.03	6.60	3.63	17.14	6.29	3.36	17.23	6.11	3.01	17.29	6.43	3.51	17.32	6.46	3.35	17.37	7.69
2549003	3.89	16.15	8.18	2.68	16.53	7.12	3.76	16.79	6.81	3.92	16.95	8.80	3.95	17.09	8.20	3.60	17.14	7.16	4.45	17.21	6.83	4.67	17.28	7.01	4.05	17.33	7.92	3.65	17.35	7.80
2549004	3.10	15.95	6.27	3.68	16.38	6.77	3.06	16.69	6.19	3.18	16.86	9.26	3.29	16.94	8.72	4.48	17.05	10.53	5.87	17.11	10.76	5.37	17.19	10.47	5.70	17.27	11.40	4.76	17.33	10.13
2549006	3.07	16.01	7.39	3.12	16.45	7.62	3.67	16.72	6.97	3.58	16.91	8.72	4.39	17.04	9.55	4.39	17.12	8.26	5.06	17.16	7.26	5.11	17.21	7.31	4.80	17.26	7.45	4.50	17.30	7.05
2550000	3.98	15.50	6.73	7.44	16.00	9.92	6.75	16.33	8.95	5.90	16.51	9.25	6.11	16.66	9.93	5.89	16.77	10.79	5.87	16.89	8.83	5.83	16.99	8.41	5.21	17.02	8.04	5.02	17.05	8.74
2550003	4.64	15.78	10.82	5.74	16.27	12.07	5.00	16.57	9.12	5.24	16.77	12.10	4.97	16.94	8.68	4.29	17.00	7.10	3.87	17.08	7.93	4.17	17.14	6.73	3.89	17.19	6.50	3.62	17.22	6.65
2550005	3.11	16.03	7.73	5.44	16.34	9.30	5.86	16.62	9.78	5.71	16.73	9.46	5.89	16.85	8.23	5.40	16.93	8.14	4.85	17.00	7.73	4.74	17.11	7.27	5.12	17.15	11.16	4.79	17.20	10.33
2550006	8.55	15.77	13.88	6.00	16.14	13.19	5.50	16.43	9.62	4.54	16.64	16.40	4.16	16.78	11.13	3.83	16.87	9.68	4.42	16.96	9.27	4.49	17.04	9.40	4.30	17.09	8.97	4.08	17.15	15.39
2550015	3.61	15.86	7.94	2.56	16.35	8.85	2.44	16.64	8.53	2.28	16.82	8.17	2.21	17.01	7.87	2.44	17.08	8.16	3.00	17.13	7.95	2.61	17.18	7.02	3.06	17.24	7.86	3.05	17.29	8.18
2551000	3.77	15.59	12.34	4.31	16.01	7.47	4.51	16.29	7.87	4.12	16.48	9.58	3.75	16.62	9.04	3.51	16.71	7.97	3.13	16.78	6.54	3.10	16.88	6.18	4.04					



**Tabela F.7 – Fator de frequência K – Estações convencionais – Extensão de dados: Total**

	1 dia			2 dias			3 dias			4 dias			5 dias			6 dias			7 dias			8 dias			9 dias			10 dias		
	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%	Histórico	Modelo Hershfield	Simulação FC 99,9%
2252013	5.41	15.40	12.41	5.46	15.90	9.37	9.94	16.19	8.54	8.52	16.43	8.25	8.25	16.57	8.10	8.03	16.68	7.64	7.86	16.79	7.55	7.14	16.84	9.36	6.94	16.87	8.91	6.48	16.91	9.31
2349033	3.92	15.89	11.75	3.85	16.22	6.85	4.07	16.47	8.10	4.70	16.67	7.11	4.90	16.81	9.43	4.34	16.88	7.01	4.21	16.96	6.33	4.03	17.02	6.33	4.47	17.08	7.13	4.20	17.11	6.78
2350002	6.08	15.93	11.65	5.21	16.33	8.85	4.57	16.62	6.91	4.27	16.82	6.53	3.83	16.96	6.42	3.51	17.07	5.97	3.36	17.14	6.24	3.54	17.21	7.45	3.30	17.24	7.89	3.18	17.26	6.55
2350015	9.44	15.45	7.97	7.25	15.88	8.77	6.53	16.19	8.49	5.81	16.42	7.91	5.55	16.58	7.68	5.42	16.74	8.30	5.14	16.84	7.81	5.39	16.93	7.40	5.05	16.99	7.38	4.67	16.99	7.22
2350017	3.72	15.87	6.99	5.76	16.30	7.28	4.69	16.57	7.97	3.47	16.72	8.05	3.14	16.85	7.07	3.67	16.94	6.82	4.06	17.02	7.46	3.97	17.08	8.08	3.97	17.11	7.94	3.70	17.14	9.26
2351053	6.20	15.53	25.30	5.57	15.83	15.57	4.27	16.09	8.67	3.93	16.36	7.80	3.17	16.51	6.87	2.98	16.65	7.11	2.91	16.78	6.68	2.64	16.83	6.39	2.33	16.87	6.68	2.05	16.91	7.19
2352000	3.54	15.92	8.20	4.01	16.32	8.16	2.99	16.57	7.33	2.53	16.75	7.33	2.54	16.91	7.55	2.90	17.02	7.02	3.34	17.10	6.79	2.92	17.16	6.91	2.71	17.19	6.44	2.51	17.23	6.67
2352029	1.98	15.49	6.85	2.10	16.01	6.10	2.78	16.34	6.17	2.92	16.53	6.40	3.52	16.67	6.71	3.27	16.75	6.85	3.05	16.82	6.42	2.86	16.87	6.21	2.64	16.92	5.97	2.33	16.96	5.80
2353001	2.91	15.79	11.95	3.32	16.30	17.44	2.44	16.59	11.73	2.85	16.77	9.63	3.16	16.96	8.78	2.98	17.10	9.03	2.68	17.20	9.53	3.03	17.22	8.52	3.20	17.27	9.62	3.20	17.34	9.21
2353027	4.14	15.40	10.46	3.27	16.15	6.84	3.74	16.43	9.82	3.51	16.66	7.41	3.18	16.84	6.73	4.15	16.90	8.78	3.89	17.01	6.82	4.75	17.06	9.36	5.33	17.12	9.02	4.92	17.16	7.46
2449000	2.46	16.60	7.09	3.80	17.00	6.50	3.64	17.21	7.23	4.46	17.37	7.14	5.75	17.44	7.34	5.21	17.51	7.69	5.00	17.55	7.78	4.72	17.59	8.00	4.42	17.64	8.01	4.08	17.67	7.89
2449006	4.99	16.46	6.98	3.18	16.82	6.61	3.25	17.11	8.39	2.84	17.28	6.77	3.48	17.37	8.98	4.03	17.46	8.07	3.99	17.54	9.38	4.00	17.61	7.01	3.60	17.62	7.72	3.29	17.63	7.22
2449007	2.63	16.44	5.33	2.31	16.83	5.37	2.88	17.05	5.75	3.58	17.20	5.81	4.08	17.31	6.75	3.52	17.38	6.63	3.75	17.45	6.08	4.58	17.51	6.23	4.35	17.53	5.82	4.96	17.54	6.40
2449008	3.42	16.32	7.50	3.10	16.73	6.58	3.70	16.99	5.83	3.04	17.16	6.12	3.06	17.29	7.09	4.28	17.36	9.03	6.34	17.42	12.21	6.24	17.46	8.34	5.53	17.50	8.09	4.92	17.53	8.31
2449019	3.74	16.17	8.50	4.13	16.40	10.50	4.33	16.64	9.73	3.81	16.77	8.85	3.75	16.87	7.81	3.64	16.97	8.09	3.79	17.05	7.15	3.41	17.09	9.75	3.29	17.15	8.40	2.96	17.18	7.69
2450002	4.06	16.02	6.19	3.40	16.37	6.61	3.21	16.67	5.88	2.86	16.85	6.41	2.90	17.01	6.47	2.67	17.11	6.27	2.27	17.17	6.33	2.32	17.20	5.98	2.86	17.24	6.57	2.95	17.26	6.37
2451003	3.75	15.79	7.84	3.33	16.15	6.95	3.09	16.41	6.81	3.39	16.60	6.40	2.69	16.71	6.63	2.76	16.85	10.15	3.46	16.96	13.04	3.28	17.04	11.97	3.31	17.10	9.55	3.93	17.14	10.95
2451014	2.87	15.44	8.67	3.49	15.97	12.79	3.10	16.31	8.79	2.47	16.44	6.85	2.78	16.61	6.44	3.44	16.71	7.50	3.25	16.80	7.78	2.73	16.86	7.28	3.95	16.90	7.29	3.87	16.96	6.93
2452016	3.59	15.14	9.11	2.52	15.60	6.90	3.21	15.97	7.90	3.39	16.20	7.05	2.79	16.35	8.13	2.28	16.46	7.47	2.17	16.57	6.67	2.64	16.66	6.34	2.75	16.68	9.40	3.16	16.73	6.74
2453011	2.68	15.39	6.57	1.61	15.97	6.82	2.67	16.30	6.18	1.94	16.49	6.53	1.87	16.63	6.72	1.95	16.79	7.35	1.90	16.86	6.83	2.08	16.91	6.88	1.93	16.96	6.88	2.14	16.99	6.59
2454000	5.69	15.25	13.39	4.82	15.94	11.90	4.06	16.34	7.29	4.89	16.57	8.17	4.20	16.74	9.86	3.91	16.87	7.99	3.26	16.96	9.26	3.99	17.03	9.27	4.81	17.07	10.76	4.39	17.12	10.49
2454001	3.00	15.61	8.10	2.02	16.13	6.97	2.90	16.40	7.86	2.62	16.67	6.85	2.74	16.81	6.82	2.74	16.93	6.73	2.76	16.99	6.53	2.86	17.07	6.63	3.06	17.13	6.85	3.03	17.19	6.53
2548000	10.17	15.47	6.92	10.47	15.77	7.28	9.29	16.05	6.68	8.92	16.24	6.63	7.46	16.33	8.72	6.69	16.42	10.73	6.25	16.50	9.07	5.83	16.54	9.17	5.61	16.59	8.58	5.01	16.61	8.55
2548001	4.53	16.18	7.66	6.39	16.62	11.51	6.93	16.87	16.16	5.69	17.06	11.71	5.37	17.17	9.47	6.08	17.24	9.74	5.60	17.26	9.52	5.46	17.29	14.03	5.03	17.32	14.28	4.99	17.37	13.43
2548003	2.25	15.14	6.42	2.87	15.67	6.49	2.74	15.94	6.69	3.50	16.07	7.80	2.98	16.14	7.81	3.57	16.18	6.13	3.39	16.27	6.65	3.74	16.29	6.58	3.38	16.33	6.22	3.36	16.38	6.18
2548041	3.66	15.61	10.88	2.97	15.99	8.84	3.51	16.17	8.35	4.13	16.36	8.19	4.11	16.47	8.21	4.36	16.55	9.41	4.61	16.62	11.50	4.60	16.68	8.97	4.22	16.74	10.34	4.48	16.77	10.36
2549001	2.65	16.00	6.62	2.99	16.56	6.61	4.97	16.77	7.33	3.87	16.93	6.81	4.01	17.07	6.61	3.64	17.16	7.26	3.26	17.25	7.10	3.27	17.31	7.90	3.86	17.34	8.92	3.96	17.38	10.79
2549003	3.49	16.11	7.60	3.24	16.57	7.42	3.60	16.80	7.60	3.88	16.98	8.80	4.09	17.15	8.54	3.60	17.20	7.15	4.33	17.27	7.62	4.67	17.33	7.05	4.13	17.38	8.42	3.74	17.39	7.57
2549004	2.94	15.91	6.21	3.61	16.39	6.85	3.04	16.72	6.98	3.16	16.88	7.16	3.23	16.97	7.02	4.41	17.08	8.08	5.70	17.15	7.77	5.35	17.22	8.67	5.69	17.30	8.11	4.88	17.35	11.40
2549006	4.21	16.18	7.56	3.45	16.56	6.83	3.83	16.82	7.21	3.93	17.01	7.73	4.89	17.15	7.55	4.89	17.21	7.22	5.46	17.26	7.03	5.53	17.32	7.09	5.06	17.36	6.76	4.75	17.39	6.99
2550000	4.13	15.71	6.40	6.61	16.13	9.21	6.71	16.44	8.37	6.11	16.61	8.58	6.48	16.77	9.14	6.26	16.86	9.12	6.09	16.97	8.29	6.06	17.06	7.98	5.48	17.08	7.86	5.34	17.12	8.31
2550003	4.82	15.92	10.51	5.68	16.39	10.23	4.96	16.66	9.58	4.92	16.87	12.16	4.77	17.02	10.27	4.21	17.08	7.01	3.80	17.15	8.24	3.97	17.23	7.66	3.65	17.27	6.94	3.44	17.31	6.60
2550005	3.43	16.13	7.34	5.77	16.43	8.71	6.23	16.67	8.77	6.00	16.81	8.28	6.19	16.92	7.51	5.67	17.00	7.46	5.09	17.08	7.36	5.07	17.15	7.38	5.46	17.19	10.92	5.14	17.24	9.63
2550006	8.93	15.92	8.49	6.21	16.26	7.37	5.50	16.53	6.95	4.73	16.74	7.83	4.31	16.88	7.22	4.08	16.95	7.01	4.71	17.04	8.95	4.78	17.12	9.21	4.53	17.18	8.20	4.28	17.22	10.45
2550015	3.85	15.90	8.14	2.71	16.39	8.35	2.58	16.67	7.82	2.37	16.84	7.59	2.27	17.03	7.86	2.55	17.10	7.46	3.15	17.16	7.81	2.77	17.21	7.43	3.24	17.26	8.33	3.24	17.32	7.89
2551000	3.88	15.64	13.67	4.49	16.01	7.10	4.71	16.30	8.19	4.22	16.48	11.45	3.81	16.63	10.17	3.63	16.73	7.92	3.29	16.81	6.31	3.09	16.89	6.59	3.87	16.96	7.31	3.69	17.00	6.87
2552000	3.89	14.96	7.54	4.04	15.78	7.63	3.86	16.08	7.19	3.61	16.36	9.09	3.44	16.52	7.21	3.36	16.66	6.17	3.88	16.73	7.84	4.40	16.80	8.18	4.29	16.87	6.92	3.98	16.90	7.40
2552001	2.13	15.24	7.36	3.98	15.71	8.97	2.93	16.00	7.20	3.14	16.22	7.92	2.77	16.35	6.56	2.97	16.49	6.55	3.89	16.57	7.87	3.62	16.65	7.05	4.31	16.70	7.10	4.44	16.72	7.36
2553009	3.25	14.79	6.64	3.95	15.45	11.38	3.64	15.78	7.95	3.26	16.04	8.19	3.14	16.26	8.86	4.27	16.37	9.96	4.19	16.50	8.36	4.62	16.60	8.61	4.44	16.65	7.53	3.70	16.69	9.45